MANUAL DEL ELECTRICISTA PRINCIPIANTE SOBRE MATERIALES Y ARTICULOS ELECTROTECNICOS

N.V. Nikulin

MANUAL DEL ELECTRICISTA PRINCIPIANTE SOBRE MATERIALES Y ARTICULOS ELECTROTECNICOS

Н. В. Никулин

СПРАВОЧНИК МОЛОДОГО ЭЛЕКТРИКА ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛАМ И ИЗДЕЛИЯМ

Издательство «Высшая школа» Москва

N. V. Nikulin

Manual del electricista principiante sobre materiales y artículos electrotécnicos

Editorial Mir Moscú

Impreso en la URSS. 1977

Versión al español por
el ingeniero Josefina Muñoz Martínez

На испанском языке

© Traducción al español. Editorial Mir · 1977

Indice

Capítulo I. Materiales aislantes

§ 1. Clasificación de los materiales aislantes . . . 9
§ 2. Propiedades eléctricas de los materiales aislantes . . 10
§ 3. Características mecánicas de los dieléctricos[1] . . 15
§ 4. Propiedades fisicoquímicas de los dieléctricos . . 16
§ 5. Características térmicas de los dieléctricos . . . 17
§ 6. Dieléctricos gaseosos 20
§ 7. Dieléctricos líquidos y semilíquidos . . . 25
§ 8. Dieléctricos de alta polimería 28
§ 9. Materiales electroaislantes peliculares y cartones electroaislantes con base pelicular 29
§ 10. Cintas electroaislantes 36
§ 11. Barnices y esmaltes electroaislantes . . . 37
§ 12. Compuestos electroaislantes 39
§ 13. Materiales electroaislantes fibrosos no impregnados . 54
§ 14. Telas barnizadas electroaislantes . . . 60
§ 15. Masas plásticas 62
§ 16. Masas plásticas electroaislantes estratificadas . 70
§ 17. Artículos devanados electroaislantes . . . 79
§ 18. Tubos electroaislantes 84
§ 19. Materiales electroaislantes minerales . . . 87
§ 20. Materiales electroaislantes de mica . . 90
§ 21. Materiales electroaislantes de «sliudinita» 97
§ 22. Materiales electroaislantes de micaplástico . . 102
§ 23. Vidrios y materiales de electrocerámica . . . 104

Capítulo II. Construcciones electroaislantes 109

§ 24. Información general sobre aisladores . . . 109
§ 25. Aisladores de espiga 109
§ 26. Aisladores de suspensión 112
§ 27. Aisladores de vástago para líneas . . . 114
§ 28. Aisladores de apoyo 117
§ 29. Aisladores de apoyo y espiga 121
§ 30. Aisladores de apoyo y vástago 122
§ 31. Aisladores pasamuros 124
§ 32. Entradas de porcelana rellenas de aceite . . . 131

§ 33. Conocimientos generales sobre condensadores . . 141
§ 34. Características eléctricas y dimensiones de los condensadores de papel impregnado con aceite 146
§ 35. Características eléctricas y dimensiones de los condensadores cerámicos de alto voltaje 147

Capítulo III. Materiales y artículos conductores 157
§ 36. Propiedades de los materiales conductores . . 157
§ 37. Alambres para devanados con aislamiento de esmalte . 162
§ 38. Alambres con aislamiento de fibra y de esmalte y fibra para devanados 168
§ 39. Barras y conductores desnudos de cobre y aluminio . . 172
§ 40. Conductores y cordones para montaje e instalaciones . 176
§ 41. Cables de potencia con aislamiento de papel y de goma . 182

Capítulo IV. Materiales magnéticos 187
§ 42. Características fundamentales de los materiales magnéticos 187
§ 43. Clasificación de los materiales magnéticos . . 191
§ 44. Acero electrotécnico en chapas 192
§ 45. Aleaciones magnéticamente blandas (permalloys) . . 198
§ 46. Materiales magnéticamente duros . . . 206
§ 47. Ferritas 210

Capítulo V. Materiales y artículos semiconductores 215
§ 48. Clasificación y propiedades generales de los semiconductores 215
§ 49. Características voltaje-corriente de los semiconductores . 219
§ 50. Rectificadores de selenio 220
§ 51. Rectificadores de germanio y silicio . . . 229
§ 52 Artículos electrocarbónicos (escobillas para las máquinas eléctricas) 234

Capítulo VI. Soldaduras, fundentes y pegamentos 244
§ 53. Soldaduras y fundentes 244
§ 54. Composición y propiedades de las colas . . . 251

Introducción

Los materiales electrotécnicos representan un conjunto de materiales aislantes, conductores, semiconductores y magnéticos, destinados para funcionar en campos eléctricos y magnéticos. También pertenecen a ellos los principales artículos electrotécnicos: aisladores, condensadores, cables y algunos elementos semiconductores (rectificadores).

Los materiales electrotécnicos ocupan un lugar primordial en la electrotecnia moderna. Se sabe que la fiabilidad en el funcionamiento de las máquinas, aparatos e instalaciones eléctricas depende fundamentalmente de la calidad y selección adecuada de sus correspondientes materiales electrotécnicos. Analizando las averías en las máquinas y aparatos eléctricos, se comprueba que la mayoría se producen al deteriorarse el aislamiento.

No menos importancia tienen para la electrotecnia los materiales magnéticos, cuyas propiedades determinan las dimensiones de las máquinas eléctricas y transformadores, las pérdidas de energía en los mismos.

Un lugar importante ocupan en la electrotecnia los materiales semiconductores. Al estudiar y diseñar propiedades de los semiconductores fueron creados nuevos aparatos (rectificadores, amplificadores) que permiten resolver problemas complejos de la electrotecnia moderna. Seleccionando racionalmente los materiales electrotécnicos (aisladores, magnéticos y demás) se pueden crear equipos eléctricos de garantía alto rendimiento, bajo peso y pequeñas dimensiones. Pero para conseguir estas cualidades es imprescindible conocer las muy variadas propiedades de los distintos materiales electrotécnicos.

Este libro que al lector proponemos es un manual breve y de interés público sobre materiales y artículos electrotécnicos (aisladores, condensadores, alambres para enrollar y montaje, cables y algunos artículos semiconductores). Una de las particularidades del

manual consiste en que cada sección comienza con un breve texto aclarando las propiedades y aplicaciones del grupo de materiales y artículos al cual está destinada. A continuación, en las tablas, vienen representados los valores numéricos de las características eléctricas, mecánicas, magnéticas y otras de los distintos materiales. Los valores inferiores de las características han sido extraídos de los correspondientes GOST y TU (normas técnicas). Los valores superiores de las características son promedios, obtenidos mediante ensayos de los materiales a investigar.

Capítulo I

Materiales aislantes

§ 1. *Clasificación de los materiales aislantes*

Se llaman materiales eléctricos aislantes (dieléctricos) aquellos, de los cuales se compone el aislamiento y que enfrentan la fuga de la corriente eléctrica entre dos conductores, encontrándose estos últimos bajo una diferencia de potenciales. Los dieléctricos poseen una resistencia eléctrica muy elevada. Así, la resistividad volumétrica de los dieléctricos ρ_v es de 10^{10} a 10^{20} ohm·cm, mientras que en los conductores es solamente de 10^{-6} a 10^{-4} ohm·cm.

Por su composición química, los dieléctricos se dividen en orgánicos e inorgánicos. En todos los dieléctricos orgánicos el elemento básico de las moléculas lo constituye el carbono. Los dieléctricos inorgánicos (mica, cerámica y otros) no contienen carbono y poseen mayor resistencia al calentamiento.

Los dieléctricos naturales o sintéticos se diferencian según el modo en que han sido obtenidos. Los dieléctricos sintéticos pueden ser formados con un conjunto, ya determinado, de propiedades eléctricas y físico-químicas, por lo cual se utilizan ampliamente en la electrotecnia.

Por la estructura de sus moléculas, los dieléctricos se dividen en polares y no polares (neutrales).

Los dieléctricos no polares están constituidos de átomos y moléculas eléctricamente neutrales, las cuales, antes de ser influidas por el campo eléctrico, no manifiestan cualidades eléctricas. Son dieléctricos neutrales el polietileno, el ftoroplast-4 ftoroplast-4[1]) y otros.

---

[1]) Nombre comercial de politetrafluoruro de etileno. (N. del T.)

Entre los neutrales se destacan los dieléctricos cristalinos de iones (mica, cuarzo y otros), en los cuales cada par de iones representa una partícula neutral. Los iones se sitúan en los nudos del retículo cristalino. Cada ion se encuentra en un movimiento térmico oscilante en torno al centro de equilibrio, el nudo del retículo cristalino.

Los dieléctricos polares (dipolos) están compuestos por moléculas polares o dipolos permanentes. Estos últimos, a causa de su estructura asimétrica, poseen un par eléctrico inicial, ya antes de ser influidos por las fuerzas del campo eléctrico.

Son dieléctricos polares la baquelita, el cloruro de polivinilo y otros. En comparación con los neutrales, los dieléctricos polares poseen mayor permeabilidad dieléctrica y también una conductividad algo superior.

Por su estado físico, los dieléctricos se dividen en sólidos, líquidos y gaseosos. El grupo de dieléctricos sólidos es extremadamente amplio.

§ 2. *Propiedades eléctricas de los materiales aislantes*

Las propiedades eléctricas de los materiales aislantes se valoran con ayuda de las llamadas cantidades eléctricas[1]).

Estas son: resistividad volumétrica (ρ_v), resistividad superficial (ρ_s), permeabilidad dieléctrica (ε), coeficiente de temperatura de la permeabilidad dieléctrica (CTε), tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas (tg δ) y rigidez dieléctrica del material (E_r).

Resistividad volumétrica ρ_v es una cantidad, que permite valorar la resistencia eléctrica que ofrece el material al paso de la corriente continua. Dicha propiedad se calcula mediante la fórmula siguiente

$$\rho_v = R_v \frac{S}{h} \text{ ohm} \cdot \text{m} \qquad (1)$$

donde R_v es la resistencia total de la muestra, teniendo ésta un espesor de h m, y el electrodo menor *2* tiene una superficie de S m^2 (fig. 1). En la práctica se utiliza con mayor frecuencia una fracción de ohm por metro, el ohm por centímetro. 1 ohm·m = 100 ohm·cm.

esta

La cantidad recíproca de la resistividad volumétrica se denomina **conductividad volumétrica:**

$$\gamma_v = \frac{1}{\rho_v} \text{ ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}.$$

Resistividad superficial ρ_s es una cantidad, que permite valorar la resistencia que ofrece el material al paso superficial de una corrien-

[1]) Los métodos para medir las características eléctricas de los materiales aislantes se describen en el libro de D. M. Kazarnovski y B. M. Taréev «Ensayos de los materiales eléctricos aislantes».

te continua entre los electrodos *1* y *2* (fig. 2). Para determinar resistividad superficial se utilizan las mismas muestras que en el caso de resistividad volumétrica.

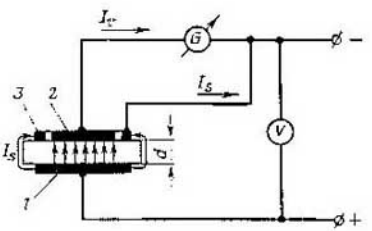


Fig. 1. Esquema principal de la instalación para medir resistividad volumétrica en un dieléctrico:
G — galvanómetro, *V* — voltímetro, I_s — corriente de conductancia superficial, I_v — corriente de conductancia volumétrica: *1* — electrodo inferior, *2* — electrodo central, *3* — electrodo anular

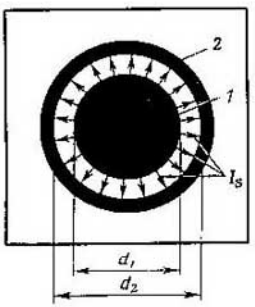


Fig. 2. Disposición concéntrica de los electrodos en una muestra dieléctrica al medir resistividad superficial

Para determinar la resistividad superficial se conecta la muestra en un circuito de medición, de acuerdo con la fig. 3. En este caso la resistividad se calcula por la fórmula[1])

$$\rho_s = R_s \frac{\pi (d_2 + d_1)}{(d_2 - d_1)} \text{ ohm}, \qquad (2)$$

donde R_s es la resistencia superficial de la muestra insertada entre los electrodos *1* y *2* (véase la fig. 2);
d_1 es el diámetro del electrodo central *1*;
d_2 es el diámetro interior del electrodo anular *2*;
$\pi \approx 3{,}14$.

La cantidad recíproca de la resistividad superficial se denomina **conductividad superficial**

$$\gamma_s = \frac{1}{\rho_s} \text{ ohm}^{-1}.$$

Coeficiente de temperatura de la resistividad eléctrica CT $\rho(\alpha)$ es una cantidad que determina la variación de la resistividad ρ del

[1]) La fórmula (2) da un resultado aproximado. Para cálculos más exactos se emplea la fórmula

$$\rho_s = R_s \frac{2\pi}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \text{ ohm}.$$

material al cambiar la temperatura. Cuando las variaciones de resistividad son lineales (en un intervalo estrecho de temperaturas), el valor promedio del coeficiente de temperatura de la resistividad se calcula mediante la fórmula

$$CT\rho = \frac{\rho_{t_2} - \rho_{t_1}}{\rho_{t_1}(t_2 - t_1)} 1\,^{\circ}C, \qquad (3)$$

donde ρ_{t_1} es la resistividad del material a la temperatura inicial t_1;
ρ_{t_2} es la resistividad del material a la temperatura variada t_2.

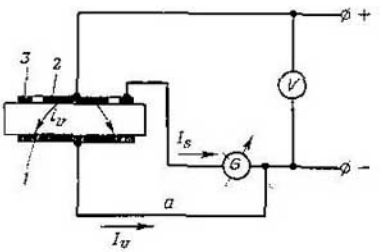


Fig. 3. Esquema principal de la instalación para medir resistividad superficial de un dieléctrico:
1, 2, 3 — electrodos; I_s — corriente de conductancia superficial, I_v — corriente de conductancia volumétrica

En todos los dieléctricos la resistencia disminuye al subir la temperatura, por tanto, sus respectivos coeficientes térmicos de la resistividad son de signo negativo, $CT\rho < 0$.

Permeabilidad dieléctrica (permeabilidad dieléctrica relativa) ε es una cantidad que permite valorar la disposición del material en crear capacitancia eléctrica.

La permeabilidad dieléctrica relativa ε forma parte de la permeabilidad dieléctrica absoluta

$$\varepsilon_a = \varepsilon_0 \varepsilon \text{ f/m}, \qquad (4)$$

donde ε_0 es la constante dieléctrica

$$\varepsilon_0 = 8{,}85416 \cdot 10^{-12} \text{ f/m}.$$

Se sabe que la capacidad eléctrica de un condensador

$$C = \frac{\varepsilon_a \cdot S}{h} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot S}{h} \text{ f}, \qquad (5)$$

donde S es la superficie del electrodo menor, en cm^2;
h es el espesor del dieléctrico, en cm.

$$\varepsilon_0 = 8{,}85416 \cdot 10^{-14} \text{ f/cm}.$$

La determinación de ε se resume en medir C_x de la muestra de un dieléctrico dado y en calcular el valor de la permeabilidad dieléctrica

de acuerdo con la ecuación

$$\varepsilon = C_x \frac{h}{\varepsilon_0 S} = C_x \frac{10^{14}\, h}{8{,}85416\, S}. \qquad (6)$$

Normalmente, la buscada capacidad C_x se calcula con dispositivos mensurales en picofaradios (pf): 1 pf $= 10^{-12}$ f, entonces

$$\varepsilon = C_x \frac{10^{-12} h}{\varepsilon_0 S} = C_x \frac{h}{0{,}0885416 S} \approx C_x \frac{h}{0{,}0886 S}. \qquad (7)$$

En todos los dieléctricos la permeabilidad dieléctrica ε varía al cambiar la temperatura y variar la frecuencia del voltaje aplicado.

Las curvas de ε en función de la temperatura y la frecuencia del voltaje aplicado están representadas en las figuras 4 y 5.

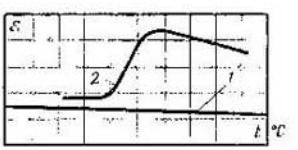


Fig. 4. Relación entre la permeabilidad dieléctrica y la temperatura:
1 — dieléctrico neutral, 2 — dieléctrico polar

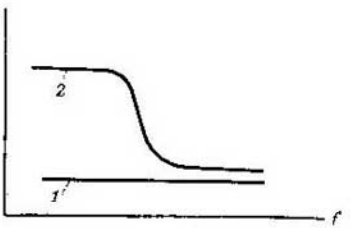


Fig. 5. Relación entre la permeabilidad dieléctrica y la frecuencia del voltaje aplicado al dieléctrico
1 — dieléctrico neutral, 2 — dieléctrico polar

Coeficiente de temperatura de la permeabilidad dieléctrica CTε es una cantidad con la cual se puede valorar las variaciones de la permeabilidad dieléctrica ε y, consecuentemente, de la capacitancia del aislante al cambiar la temperatura.

Cuando las variaciones de ε en función de la temperatura son lineales (fig. 6), el coeficiente térmico de la permeabilidad dieléctrica se determina por la fórmula

$$\mathrm{CT}\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_1} \cdot \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{t_2 - t_1}\ 1/°\mathrm{C}, \qquad (8)$$

donde ε_1 es la permeabilidad del material a la temperatura inicial t_1,
ε_2 es la permeabilidad del material a temperatura variada t_2.

Si CTε es de signo positivo (CTε > 0), al elevarse la temperatura aumenta la permeabilidad dieléctrica ε del aislante, y al contrario, si CTε < 0, disminuye.

Tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas tg δ es una cantidad que permite determinar las pérdidas de potencia en un dieléctrico

sometido a una tensión alterna. Las pérdidas en un dieléctrico (en un aislante eléctrico) en vatios se calculan por la fórmula

$$P = U^2 2\pi f C \cdot \operatorname{tg}\delta \text{ W}, \qquad (9)$$

donde U es el valor del voltaje aplicado, en V;
f es la frecuencia, en Hz;
C es la capacidad, en f;
tg δ es el tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas (tg δ se mide directamente con ayuda de dispositivos mensurales y experimentando con corriente alterna).

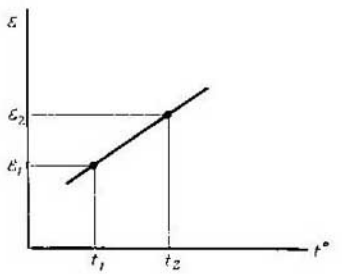


Fig. 6. Relación lineal entre ε y la temperatura del dieléctrico (CT $\varepsilon > 0$)

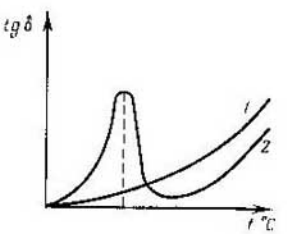


Fig. 7. Relación entre la tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas y la temperatura del dieléctrico:
1 — dieléctrico neutral, *2* — dieléctrico polar

Las curvas tg δ en función de la temperatura y de la frecuencia del voltaje aplicado vienen representadas en las figuras 7 y 8.

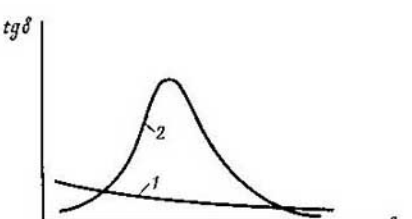


Fig. 8. Relación entre la tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas y la frecuencia del voltaje aplicado al dieléctrico:
1 — dieléctrcio neutral, *2* — dieléctrico polar

Rigidez dieléctrica E_r es una cantidad para valorar la capacidad del dieléctrico de oponer resistencia a su propia destrucción por la tensión eléctrica. La rigidez dieléctrica se determina con muestras

de materiales aislantes en un campo eléctrico homogéneo [1]). Para este fin se eligen formas adecuadas de las muestras y electrodos (cilindro metálico compacto con los bordes redondeados). La rigidez dieléctrica en un campo homogéneo se calcula por la fórmula [2])

$$E_r = \frac{U_r}{h} \text{ V/mm}, \tag{10}$$

donde U_r es la magnitud del voltaje aplicado al dieléctrico en el momento de ruptura, en V;

h es el espesor del material en el lugar de ruptura, en mm.

Los valores E_r, definidos al ensayar las muestras de 1 a 2 mm de espesor, son siempre superiores a los valores E_r, determinados con muestras del mismo material pero de mayor espesor, puesto que al aumentar este último se manifiesta la influencia desímil del campo eléctrico y desciende la evasión del calor.

§ 3. *Características mecánicas de los dieléctricos*[3])

Con ayuda de las características mecánicas se aprecia la resistencia mecánica de los dieléctricos y otros materiales. Estas características se definen con muestras de formas y dimensiones determinadas.

Límite de resistencia a la tracción σ_t se calcula por la fórmula

$$\sigma_t = \frac{P_t}{S_0} \text{ kgf/cm}^2, \tag{11}$$

donde P_t es el esfuerzo de ruptura por tracción de una probeta del material, en kgf;

S_0 es el área de la sección transversal de la probeta antes del ensayo, en cm^2.

El alargamiento relativo a la tracción e_t se determina por la fórmula

$$e_t = \frac{\Delta l_t}{l_0} 100\%, \tag{12}$$

donde Δl_t es el alargamiento absoluto de la probeta en el momento de ruptura, en mm;

l_0 es la longitud de la probeta antes del ensayo, en mm.

El límite de resistencia a la compresión σ_c se calcula por la fórmula

$$\sigma_c = \frac{P_c}{S_0} \text{ kgf/cm}^2, \tag{13}$$

---

[1]) Se llama campo eléctrico homogéneo aquel, donde la intensidad del campo E es igual en todos sus puntos.

[2]) Para los dieléctricos E_r se calcula en kilovoltios por milímetro (kV/mm); 1 kV = 1000 V.

[3]) En el sistema SI los valores σ_t, σ_c y σ_f se miden en newton/metro^2, N/m^2; 1 kgf/cm^2 = 9,81·10^4 N/m^2.

donde P_c es el esfuerzo de ruptura al comprimir la probeta, en kgf;
S_0 es el área de la sección transversal de la probeta antes del ensayo, en cm².

El límite de resistencia a la flexión estática σ_f se calcula por la fórmula

$$\sigma_f = 1{,}5\,\frac{P_f L}{bh^2}\ \text{kgf/cm}^2, \qquad (14)$$

donde P_f es el esfuerzo flexionante de ruptura, aplicado en el centro de la probeta (viga), en kgf;
L es la distancia entre los apoyos sobre los cuales se sitúa la probeta en la máquina de ensayo, en cm;
b es el ancho de la probeta, en cm;
h es el espesor de la probeta, en cm.

La resiliencia específica a (límite de resistencia a la flexión dinámica) se determina por la ecuación

$$a = \frac{T_{fd}}{S_0}\,\frac{\text{kgf·cm}}{\text{cm}^2}, \qquad (15)$$

donde T_{fd} es el trabajo utilizado para destruir la muestra durante el ensayo de flexión dinámica, en kgf·cm;
S_0 es el área de la sección transversal de la muestra antes del ensayo, en cm².

Resistencia al hendimiento. Para los plásticos estratiformes (hetinax, textolita y otros) se define como el esfuerzo aplicado a una cuña de acero, cuyo vértice es un ángulo de 60°, cuando penetra en la muestra de material estratiforme a lo largo de las capas. Dimensiones de la muestra: 15 × 15 mm² de superficie y 10 mm de espesor. La resistencia al hendimiento caracteriza tenacidad de adhesión entre las capas de los plásticos estratiformes.

§ 4. *Propiedades fisicoquímicas de los dieléctricos*

El grado de acidez es la cantidad en miligramos (mg) de hidróxido de potasio (KOH) necesaria para neutralizar los ácidos libres, contenidos en un gramo del dieléctrico. Se determina el grado de acidez en los dieléctricos líquidos, barnices y compounds. El grado de acidez permite apreciar la cantidad de ácidos libres en el dieléctrico, o sea, su influencia sobre los materiales orgánicos. La existencia de ácidos libres reduce las cualidades aislantes de los dieléctricos.

La viscosidad (coeficiente de fricción interna) η permite apreciar la fluidez de los líquidos aislantes eléctricos (aceites, barnices y otros). Se distinguen viscosidades cinemática y convencional.

La viscosidad cinemática se mide en stokes (St) con ayuda de viscosímetros capilares (tubos de cristal en forma de U). Normalmente se emplea la centésima parte de stoke el centistoke (cSt).

La viscosidad convencional se determina por mediación del viscosímetro VU, y en este caso se mide en grados Engler, E°. Frecuentemente se utiliza un instrumento simple, un embudo especial con capacidad de 100 ml (viscosímetro V3-4), el cual se llena de líquido a investigar. Se acepta por viscosidad el tiempo, en segundos, necesario para que el líquido salga del viscosímetro V3-4. La viscosidad convencional (en grados Engler, E°) se transfiere a viscosidad cinemática ν de acuerdo con la fórmula[1])

$$\nu = \left(0{,}0731E° - \frac{0{,}0631}{E°}\right) \text{St}. \tag{16}$$

Higroscopicidad X es la cantidad de agua (en mg o en %) absorvida por una muestra del dieléctrico de forma determinada,[2]) al sumergirla en agua destilada durante 24 horas y a una temperatura de 20° C o superior.

La higroscopicidad se calcula por la fórmula

$$X = G_1 - G_2 \text{ mg}, \tag{17}$$

o bien

$$X = \frac{G_1 - G_2}{G_2} 100\%, \tag{18}$$

donde G_1 es el peso de la muestra después de haber permanecido sumergida en el agua, en mg;

G_2 es el peso de la muestra desecada, antes de sumergirla en el agua, en mg.

La magnitud de higroscopicidad nos muestra la porosidad del material y la existencia en ól de substancias solubles. Al aumentar la higroscopicidad disminuyen las propiedades aislantes de los dieléctricos.

La higroscopicidad también se calcula, a veces, por la fórmula

$$X = \frac{G_1 - G_2}{F} \text{ g/dm}^2, \tag{19}$$

donde F es la superficie de la muestra, en dm^2.

§ 5. *Características térmicas de los dieléctricos*

El punto de fusión se determina mediante métodos diferentes para los dieléctricos de estructura cristalina (mica, parafina y otros).

El punto de reblandecimiento se determina para los dieléctricos de estructura amorfa (alquitranes, betunes) mediante distintos méto-

[1]) La fórmula (16) es útil para cálculos aproximados.

[2]) Las muestras de masas plásticas son en forma de discos de 50 mm de diámetro y 3 mm de espesor.

dos, los cuales dan valores algo diferentes de esta característica para un mismo material. Los métodos más extendidos son los siguientes: el llamado método «de bola y anillo» y el método de Kramer — Sarnov.

El punto de goteo es la temperatura, al llegar a la cual se desprende la primera gota del material a investigar, saliendo ésta de un orificio de 3 mm de diámetro en el fondo de la taza del instrumento.

Punto de inflamación de los vapores de líquidos aislantes eléctricos se determina mediante los aparatos PVNO o PVNE. En estos aparatos en una vasija cerrada de latón con capacidad de 100 ml el líquido a investigar se calienta con una velocidad de 5° C por minuto, posteriormente disminuyen la velocidad con que se calienta hasta 2 grados por minuto. Fijan la temperatura bajo la cual los vapores mezclados con el aire se inflaman al introducir la llama de un quemador.

La estabilidad térmica de las masas plásticas se determina con ayuda del aparato de Martens. Para este fin se utilizan muestras (barras) rectangulares de 10 × 15 × 120 mm, las cuales se sitúan en el aparato en posición vertical. Sobre cada muestra acciona un par flexor constante, y éste crea una tensión de 50 kgf/cm^2 en la sección más delicada de la muestra.

Por estabilidad térmica se toma la temperatura, bajo la cual las muestras empiezan a deformarse peligrosamente, lo que en el aparato de Martens queda fijado por un indicador especial, descendiendo éste en 6 mm.

La estabilidad térmica de los dieléctricos homogéneos de alta polimería se determina por el método de Vika. Por estabilidad térmica se toma la temperatura, bajo la cual una varilla de acero de 1,13 mm de diámetro penetra en la muestra de ensayo a una profundidad de 1 mm, accionada por una carga de 1 kg de peso.

La elasticidad térmica (estabilidad térmica) de los barnices se determina con muestras en forma de cintas de cobre de 150 mm de longitud, 15 mm de ancho y 0,1 mm de grueso, recubiertas con el barniz a investigar. El espesor de la película de barniz, resecado en la cinta de cobre, debe ser de 0,045—0,055 mm. Las cintas se introducen en cámaras con una temperatura constante de 105, 130, 180° C y más alta. Se toma por estabilidad térmica el lapso de tiempo (horas), transcurrido hasta cuando la película de barniz empieza a agrietarse; estas grietas se distinguen con ayuda de una lupa (quíntupla en amplificación), al doblar la banda de cobre barnizada sobre una varilla de acero de 3 mm de diámetro.

La resistencia al calentamiento es la capacidad de un dieléctrico de soportar prolongadamente una temperatura límite y de seguir cumpliendo sus funciones durante el tiempo de explotación normal de los equipos, en los que se utiliza el dieléctrico dado.

Todos los materiales eléctricos aislantes, que se utilizan en los aparatos y máquinas eléctricas, de acuerdo con el GOST 8865-70 se gradúan por su resistencia al calentamiento en clases, enumeradas en la tabla 1.

La estabilidad a la congelación es una de las cualidades de los materiales eléctricos aislantes de resistir la acción de bajas temperaturas.

Como estabilidad a la congelación de los dieléctricos sólidos (materiales de alta polimería, masas plásticas, compuestos y otros) se toma la temperatura negativa, bajo la cual, al pasar el establecido lapso de tiempo, en las muestras del material aparecen señales de su destrucción mecánica (grietas y otras).

La estabilidad tropical es la oposición que ofrecen los materiales a todo un complejo de acciones climatológicas, propias de los países tropicales (la India, Etiopía y otros): alta temperatura del aire; variaciones bruscas de temperatura durante el día (en 40° C y más); alta humedad del aire; radiación solar intensiva; microorganismos vegetales; insectos y un aire, contenedor de sales en grandes cantidades.

La estabilidad tropical de los materiales se determina como resultado de una gran cantidad de ensayos, en condiciones arriba enumeradas y creadas artificialmente.

Los dieléctricos más estables a las acciones tropicales son los de procedencia inorgánica: vidrio de cuarzo, materiales eléctricos de cerámica. Poseen buena estabilidad tropical los dieléctricos de alta polimería: los silicoorgánicos, los de policloruro de vinilo, los epoxídicos y otros[1]).

Tabla 1

Resistencia al calentamiento de materiales electroaislantes. Clasificación (según las normas GOST 8865—70)

Clase de resistencia al calentamiento	Temperatura que caracteriza la resistencia al calentamiento de los materiales, °C	Descripción de los grupos fundamentales de materiales electroaislantes
Y	90	Materiales fibrosos de celulosa, algodón y seda no impregnados y no sumergidos en sustancias líquidas electroaislantes, y también otros materiales o composiciones simples de materiales correspondientes a esta clase
A	105	Materiales fibrosos de celulosa, algodón o de seda natural, artificial y sintética impregnados o sumergidos en sustancias líquidas electroaislantes, y también otros materiales o composiciones simples de materiales correspondientes a esta clase

[1]) Para los dieléctricos con destinación especial se determina además la estabilidad a la radiación: el grado en que cambian las propiedades físico-químicas y eléctricas bajo la acción de las radiaciones ionizantes (radiación gama, radiación neutrónica y otras).

Continuación de la tabla 1

Clase de resistencia al calentamiento	Temperatura que caracteriza la resistencia al calentamiento de los materiales, °C	Descripción de los grupos fundamentales de materiales electroaislantes
E	120	Materiales orgánicos sintéticos (fibras, resinas, compuestos, películas), y también otros materiales o composiciones simples de materiales, para los cuales se determina la posibilidad, que funcionen a temperaturas correspondientes a esta clase
B	130	Materiales con base de mica (incluyendo las micas con sostén orgánico), asbesto y fibras vítreas, aplicados conjuntamente con sustancias aglutinantes e impregnantes orgánicas, y también composiciones simples de materiales correspondientes a esta clase
F	155	Materiales con base de mica, asbesto y fibras vítreas, aplicados conjuntamente con sustancias aglutinantes e impregnantes sintéticas, y también otras composiciones simples de materiales correspondientes a esta clase
H	180	Materiales con base de mica, asbesto y fibras vítreas, aplicados conjuntamente con sustancias aglutinantes e impregnantes silicoorgánicas, elastómeros silicoorgánicos, y también otros materiales o composiciones simples de materiales correspondientes a esta clase
C	Más de 180	Mica, materiales de cerámica, vidrio, cuarzo o combinaciones de éstos, aplicados sin aglutinante o con sustancia aglutinante inorgánica, y también con aglutinante orgánico elemental; pueden corresponder a esta clase otros materiales y composiciones simples de materiales

Observaciones:

1. Las temperaturas en la tabla es el valor límite admisible para los materiales electroaislantes, utilizados prolongadamente en las máquinas y aparatos eléctricos, que funcionan en condiciones normales.
2. Las temperaturas en el punto más caliente del aislamiento no deben sobrepasar los valores límites indicados, si es que los equipos eléctricos funcionan en un régimen nominal.
3. Conjuntamente con los materiales electroaislantes de una clase se permite utilizar materiales de las clases anteriores con la condición de que, bajo temperaturas admisibles para la clase superior, las cualidades eléctricas y mecánicas del aislamiento integral no deben sufrir variaciones, causantes de la inaptitud del mismo para un funcionamiento prolongado.

§ 6. *Dieléctricos gaseosos*

Son dieléctricos gaseosos todos los gases y, entre éstos, el aire[1]), el cual se utiliza ampliamente en las instalaciones electrotécnicas. La conductividad eléctrica en los dieléctricos gaseosos se debe a la

[1]) Forman parte del aire los vapores de agua y siguientes gases: nitrógeno (78%), oxígeno (20,99%), gas carbónico (0,03%), argon (0,9325%), hidrógeno (0,01%), neón (0,0018%), helio, criptón y xenón (en cantidades conjuntas volumétricas de diezmilésimas partes de un porciento).

existencia en los mismos de partículas libres eléctricamente cargadas, electrones e iones.

Si a una capa de gas se le aplica un voltaje eléctrico, en ésta surge una corriente de conducción (fig. 9). Al subir consecutivamente el voltaje llega el momento de ruptura del gas (el punto R en la fig. 9). La ruptura en un campo eléctrico homogéneo ocurre en forma de una descarga por chispas, que unen los electrodos metálicos colocados en el medio gaseoso. El fenómeno de ruptura de los dieléctricos gaseosos en campo eléctrico homogéneo se describe por la ley de Paschen, de acuerdo con la cual la tensión de ruptura (U_r) de cualquier dieléctrico gaseoso (gas) es función del producto de la presión del gas (p) por el espesor de la capa de gas (h)

$$U_r = F(ph). \qquad (20)$$

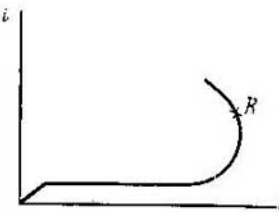


Fig. 9. Relación entre el voltaje y la corriente del aire (característica voltampérica)

De acuerdo con la ley de Paschen[1]) la tensión de ruptura de cualquier dieléctrico gaseoso aumenta proporcionalmente al producto de la presión del gas por el espesor de la capa de gas (fig. 10). La ten-

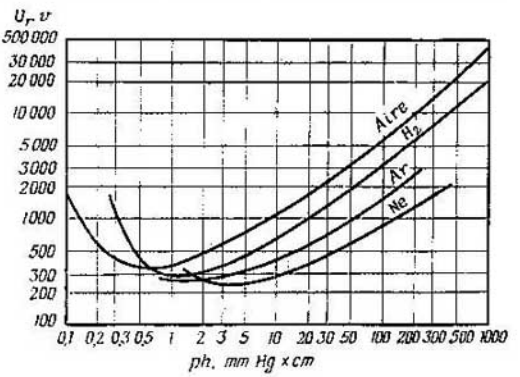


Fig. 10. Relación entre el voltaje de ruptura de gases y el producto de la presión del gas por el grueso de la capa de gas (campo homogéneo)

[1]) La expresión precisa de la ley de Paschen es

$$U_r = \frac{Aph}{\ln \frac{Bph}{\ln\left(1+\frac{1}{\gamma}\right)}} V,$$

donde A y B son factores dependientes de la composición del gas;
γ es el coeficiente de ionización de choque de los iones contra el cátodo;
p es la presión, en mm Hg;
h es el espesor de la capa de gas, en cm.

sión de ruptura aumenta al incrementar la presión del gas y el espesor de la capa del mismo.

Pero al disminuir la presión del gas y la distancia entre los electrodos la tensión de ruptura se reduce, y al llegar a su mínimum, después nuevamente aumenta (desviación de la ley de Paschen). Por tal motivo la rigidez dieléctrica E_r de cualquier gas aumenta al disminuir la distancia entre los electrodos (fig. 11). A partir de

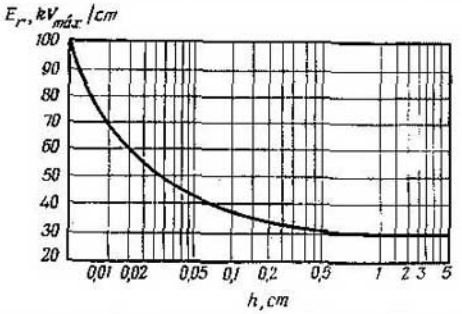


Fig. 11. Relación entre la rigidez dieléctrica del aire y la distancia entre los electrodos en un campo homogéneo (p = 760 mm Hg, t = 20° C, humedad normal 11 g/m³)

una distancia mayor a 2 cm los valores de E_r se aproximan a una magnitud constante. Con distancias entre los electrodos (en campo homogéneo) de 1—3 cm la rigidez dieléctrica del aire se considera igual a $\frac{30\ kV_{máx}}{cm} \times (21{,}3\ kV/cm)$.

En los campos eléctricos heterogéneos la ruptura de los dieléctricos gaseosos pasa por una serie de etapas intermedias de ruptura incompleta del gas (descarga de corona, descarga ramificada).

Son electrodos típicos, formadores de campos eléctricos heterogéneos irregulares, los siguientes: punta —superficie plana, punta—punta, cilindro dentro de otro cilindro y demás. La mayor heterogeneidad en un campo eléctrico se crea entre los electrodos tipo punta — superficie plana. El grado de heterogeneidad del campo, la polaridad y la forma de los electrodos influyen sobre la ruptura del gas en un campo eléctrico (fig. 12).

Para cálculos aproximados de valores de tensión de ruptura del aire se utilizan fórmulas empíricas, determinadas para electrodos tipo punta—punta. Entonces, para tensión alterna con 50 Hz de frecuencia, bajo una p = 760 mm Hg, t = 20° C y una humedad relativa del aire de 65%, con una distancia entre los electrodos $h >$ $>$ 30 cm, tenemos:

$U_r = 15 + 3{,}8h$ kV para los electrodos aislados de tierra,

$U_r = 15 + 3{,}6h$ kV para los mismos electrodos, con uno de ellos conectado a tierra.

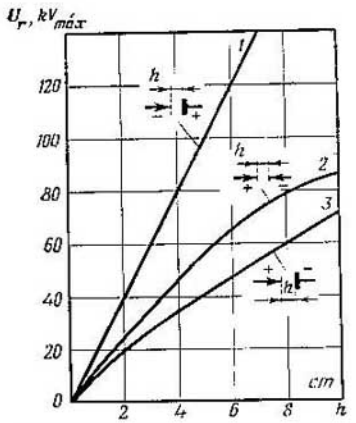


Fig. 12. Relación entre el voltaje de ruptura y la distancia entre los electrodos en el aire: punta —superficie plana, punta — punta (con distintas polaridades de la punta)

1 — voltajes de ruptura del aire siendo negativa la punta y cargado positivamente el plano, *2* — voltajes de ruptura del aire entre dos puntas, *3* — voltajes de ruptura del aire entre la punta positiva y el plano cargado negativamente

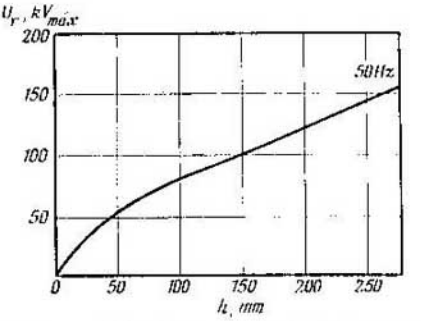


Fig. 13. Relación entre el voltaje de ruptura y la distancia entre los electrodos: punta —punta. Uno de los electrodos se conecta a tierra (p = 760 mm Hg, t = = 20° C, humedad normal 11 g/m³)

Cuando las distancias son $h < 30$ cm, para determinar la U_r se puede utilizar el gráfico representado en la figura 13.

La tensión de ruptura de los dieléctricos gaseosos aumenta al elevarse la densidad de los mismos, dependiendo esta última de la presión y temperatura. De esta manera, si la tensión de ruptura del aire bajo una presión de 760 mm Hg y una temperatura de 20° C es igual a U_r, entonces a presión p_e y temperatura t_e la tensión será

$$U_{r_e} = U_r \delta = U_r \frac{p_e (273+20)}{760(273+t_e)}, \qquad (21)$$

donde p_e es la presión del aire durante el ensayo,

t_e es la temperatura del aire durante el ensayo,

$\delta = \frac{p_e (273+20)}{760 (273+t_e)}$ es la densidad relativa del aire.

Para poder comparar los resultados de los ensayos de ruptura de los espacios aéreos es necesario reducir los valores de las tensiones de ruptura (descarga) a condiciones normales atmosféricas (p = = 760 mm Hg, t = 20° C) de acuerdo a la fórmula

$$U_r = \frac{U_{r_e}}{\delta}, \qquad (22)$$

donde U_{r_e} es la tensión de ruptura en condiciones del ensayo.

El grado de humedad de los dieléctricos gaseosos influye también sobre los valores de las tensiones de ruptura, creciendo éstos al elevarse la humedad del gas, pero solamente hasta la saturación completa del aire por los vapores de agua (punto de rocío). La aparición de gotas de agua en los electrodos introducidos en el gas provoca la decreción de la tensión de ruptura del gas.

En el aire una notable influencia de la humedad sobre la tensión de ruptura U_r se observa fundamentalmente en campos heterogéneos.

Por humedad absoluta normal del aire se acepta

$$\gamma = 11 \text{ g/m}^3.$$

Se puede aumentar la tensión de descarga de los dieléctricos gaseosos introduciendo en el espacio entre los electrodos barreras de listones de materiales aislantes (cartón electrotécnico, etc.).

Cuando la descarga sucede cerca de la superficie del dieléctrico sólido se observa una decreción en la tensión de ruptura U_r del gas (fig. 14). La mayor decreción de U_r se observa al producirse la

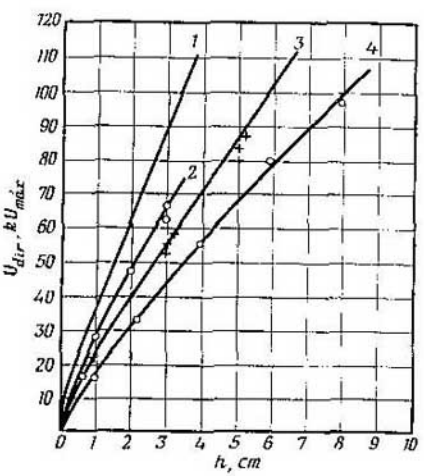


Fig. 14. Relación entre la tensión de ruptura del aire y la distancia entre los electrodos en presencia de un dieléctrico sólido (cilindro compacto agarrado por los dos electrodos). Voltaje alterno de 50 Hz. Diámetro de las muestras cilíndricas dieléctricas de 50 mm:

1 — ruptura del aire en ausencia de un dieléctrico sólido, *2* — ruptura del aire en presencia de la parafina, *3* — ruptura del aire en presencia de la porcelana, *4* — ruptura del aire en presencia de la fibra

ruptura cerca de la superficie de un dieléctrico hidrófilo (fibra y otros). En estos casos se puede obtener un sensible aumento de U_r utilizando dieléctricos hidrófugos y principalmente diseñando estructuras aislantes eléctricas (aisladores, etc.), en los cuales se obstaculiza el desarrollo de descargas eléctricas deslizantes por la superficie del dieléctrico sólido. Las características fundamentales de los dieléctricos gaseosos utilizables en la electrotecnia vienen expuestas en la tabla 2.

Tabla 2

Características fundamentales de los dieléctricos gaseosos

Gas	Fórmula química	Densidad a 0°C y 760 mm Hg, g/l (kg/m³)	Permeabilidad dieléctrica	Rigidez dieléctrica (campo homogéneo), kV/mm	Coeficiente de conductibilidad térmica a 20°C, W / m·°C	Capacidad calorífica J / kg·°C	Punto de ebullición a 760 mm Hg, °C
Aire	Mezcla de gases	1,2928	1,00058	3,0	0,025537	1006,5	—193,0
Nitrógeno	N_2	1,2507	1,00058	3,0	0,024426	1041,8	—195,8
Hidrógeno	H_2	0,0898	1,00027	1,8	0,174450	14285,3	—252,8
Gas carbónico	CO_2	1,9768	1,00098	2,7	0,02326	843,64	—78,5
Elegás	SF_6	6,4851	1,00099	7,2	0,03198	597,39	—63,8
Freón	CCl_2F_2	0,54306	—	7,8	0,01046	962,96	—29,8

§ 7. *Dieléctricos líquidos y semilíquidos*

Forman parte de los dieléctricos líquidos el aceite mineral purificado (para transformadores, cables, condensadores y otros) y dieléctricos líquidos sintéticos (sovol, sovtol, PES-D (ПЭС-Д), PMS-10D (ПМС-10Д), etc.).

Pertenecen a los dieléctricos semilíquidos las vaselinas purificadas de petróleo y sintéticas. Las vaselinas, igualmente que los aceites minerales, son materiales inflamables. El sovtol y sovol son líquidos ininflamables, pero son tóxicos.

Todos los aceites para cables se distinguen por su reducido desprendimiento de gases, lo cual garantiza una alta rigidez dieléctrica del aislamiento de los cables para alta tensión.

Los líquidos silicoorgánicos PES-D (ПЭС-Д), PMS-10D (ПМС-10Д), las vaselinas poseen mayor estabilidad al calentamiento y la congelación. Pueden ser aplicados en un margen de temperaturas desde —60 hasta 180° C.

En las tablas 3, 4, 5 vienen expuestas las características de los líquidos y vaselinas electroaislantes.

Tabla 3

Características fundamentales de los líquidos electroaislantes

Propiedades*	Unidades de medida	Aceites minerales			Líquidos sintéticos			
		de transformador TK	de transformador TKp	de condensador	sovol	sovtol-2	PES-D	PMS-10D**
Densidad *** a 20° C	g/cm³	0,88	0,89	0,92	1,54	1,52	1,02	0,95
Color	—	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Incoloro	Incoloro	Incoloro	Incoloro
Contenido de ceniza (no mayor)	%	0,005	0,005	0,0015	—	—	—	—
Grado de acidez (no mayor)	$\frac{\text{mg KOH}}{\text{g}}$	0,050	0,02	0,02	0,015	0,01	—	—
Temperatura de solidificación (no mayor)	°C	—45	—45	—45	+5	—40	—60	—60
Punto de inflamación de los vapores (no menor)	°C	135	135	135	200	200	150	—
Coeficiente de dilatación térmica	1° C	0,00070	0,00063	0,00067	0,00065	0,0006	0,0008	0,0009
Coeficiente de conductibilidad térmica a 20-90° C	W/emk × × grad	0,0020	0,0020	0,00162	—	—	—	—
Viscosidad a 20° C (no mayor)	cSt	30	30	40	A 40° C 290	115	85	—
Viscosidad a 50° C (no mayor)	cSt	9,6	9,0	10,5	A 65° C 28,0	A 65° C 3,4	—	—
Resistividad volumétrica a 20° C	ohm·cm	$10^{14} \div 10^{15}$	$10^{13} \div 10^{15}$	10^{14}—10^{15}	10^{14}	10^{13}—10^{14}	10^{14}—10^{15}	10^{14}—10^{15}
Tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas a 20° C y 50Hz (no mayor)	—	0,003****	0,002****	0,005	0,05*****	0,008*****	0,0003*****	0,0008
Permeabilidad dieléctrica a 20° C	—	2,1—2,2	2,2÷2,4	2,1÷2,3	5,2	4,6	2,4—2,8	2,6
Rigidez eléctrica a 20° C y 50 Hz	kV/mm	18	18	20	18	20	18	6

* Para expresar densidad $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$, coeficiente de conductibilidad térmica $\left(\frac{\text{W}}{\text{m° C}}\right)$ y viscosidad $\left(\frac{\text{m}^2}{\text{seg}}\right)$ en el sistema de unidades SI, es necesario multiplicar los valores exhibidos en las tablas por 10^3, 10^2 y 10^6, respectivamente.

** El líquido silicoorgánico PMS-10D se distingue por su estabilidad ante las vibraciones.

*** Se exhiben valores promedios.

**** Para aceites filtrados y secos.

***** A temperaturas de 90° C el sovol tiene tg $\delta = 0{,}03$, y el sovtol-2 tiene tg $\delta = 0{,}04$.

Tabla 4

Características fundamentales de los aceites de cable

Propiedades	Unidades de medida	Aceite de baja viscosidad MN-2	Aceite de elevada viscosidad S-110	Aceite de elevada viscosidad S-220	Aceite de alta viscosidad (Brayfstok) P-28	Aceite de alta viscosidad (Oktol)
Densidad a 20° C	g/cm^3	0,89—0,90	0,89—0,895	0,88—0,89	0,90—0,92	0,85—0,87
Color	—	Amarillo claro	Incoloro	Incoloro	Amarillo	Amarillo claro
Contenido de ceniza (no mayor)	%	0,005	0,001	0,001	0,005	0,004
Grado de acidez (no mayor)	$\frac{mg\ KOH}{g}$	0,04	0,01	0,02	—0,05	0,03
Temperatura de solidificación (no mayor)	°C	—45	—15	—30	—10	—15
Punto de inflamación del vapor (no menor)	°C	135	200	180	240	165
Viscosidad:						
a 20° C	cSt	36—37	680—800	800—900	2000	$(13 \div 14)\ 10^3$
a 50° C		9,0—9,6	80—120	50—60	—	410—460
a 100° C		—	15—17,5	11—12	26—30	45—60
Resistividad volumétrica a 20° C	ohm·cm	10^{14}—10^{15}	10^{14}—10^{15}	10^{15}—10^{16}	10^{13}—10^{14}	10^{14}
Permeabilidad dieléctrica a 20° C	—	2,2—2,3	2,1—2,2	2,1—2,2	2,2—2,4	2,2—2,4
Tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas a 100° C y 50 Hz (no mayor)	—	0,003	0,003	0,003	0,025	0,005
Rigidez eléctrica a 20° C y 50 Hz	kV/mm	18—20	18—22	20—24	14—18	16—17

Tabla 5

Características fundamentales de las vaselinas electroaislantes

Propiedades	Unidades de medida	Vaselinas de petróleo y condensación	Vaselinas silico-orgánicas	
			KV-3	KV-E/16
Densidad	g/cm^3	0,82—0,84	0,90	0,92
Contenido de cenizas (no mayor)	%	0,004	—	—
Grado de acidez (no mayor)	$\frac{mg\ KOH}{g}$	0,04—0,05	—	—
Viscosidad a 60° C (no mayor)	cSt	28—30	—	—
Punto de fluidez	°C	37	—	—
Resistividad volumétrica a 20° C	ohm·cm	10^{14}—10^{15}	10^{14}	10^{14}—10^{15}
Permeabilidad dieléctrica a 20° C	—	3,8	2,8	2,8
Tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas a 20° C y $f = 10^6$ Hz	—	0,001—0,002	0,006	0,005
Rigidez dieléctrica a 20° C y 50 Hz	kV/mm	20—22	15	30

§ 8. *Dieléctricos de alta polimería*

Los materiales de alta polimería (polímeros) constan de moléculas voluminosas que comprenden decenas y centenas de millares de moléculas de sustancias iniciales o monómeros.

Las sustancias de alta polimería pueden ser naturales (caucho natural, ámbar y otros) y sintéticos (caucho sintético, polietileno, poliestireno, policloruro de vinilo, etc.).

La particularidad característica de los polímeros consiste en sus buenas propiedades electroaislantes. Los dieléctricos sintéticos se obtienen como resultado de la polimerización o policondensación (materiales polimerizados o policondensados). Estos últimos poseen propiedades electroaislantes un poco inferiores, ya que en el proceso de policondensación se contaminan de subproductos (ácidos, agua, etc.).

Los dieléctricos de alta polimería, compuestos de moléculas alineadas (caucho, goma y otros) son flexibles; y los compuestos de moléculas desarrolladas en el espacio (baquelita, gliftal, etc.) no poseen flexibilidad. Los polímeros lineales, como regla, son sustancias termoplásticas y se reblandecen al calentarlos. Usando esta cualidad se fabrican artículos polímeros termoplásticos: películas, hilos, piezas fundidas (armazones de bobinas, placas, etc.). Los materiales de alta polimería, compuestos de moléculas desa-

trolladas en el espacio son, como regla, sustancias termofijas. Estos materiales después del tratamiento térmico pasan a su estado infusible e insoluble (baquelita, glíftal, etc.).

La industria química confecciona los materiales de alta polimería en forma de polvos, gránulos y también en hojas, láminas y películas finas. Estos productos semifabricados posteriormente son transformados en artículos electroaislantes (armaduras para bobinas, placas, etc.) mediante aprensado, por inyección a presión y otros métodos. Las características fundamentales de los dieléctricos polimerizados vienen expuestas en la tabla 6.

§ 9. *Materiales electroaislantes peliculares y cartones electroaislantes con base película*

Los materiales electroaislantes peliculares y cintas, elaboradas de ciertos polímeros (tablas 7 y 8), se utilizan ampliamento en la electrotecnia. Las películas se fabrican con gruesos de 5 a 250 micras y las cintas de 0,2 a 3,0 mm. Las películas y cintas de alta polimería se destacan por su gran flexibilidad, resistencia mecánica y buenas cualidades electroaislantes.

Las películas de poliestireno se confeccionan en gruesos de 20 a 100 micras y de 8 a 250 mm en ancho.

Las películas de polietileno se confeccionan en gruesos de 30 a 200 micras y de 230 a 1500 mm en ancho.

Las películas de ftoroplast-4[1]) se confeccionan en gruesos de 5 a 40 micras y de 10 a 200 mm en ancho. De ftoroplast-4 se fabrican películas orientadas y no orientadas. Las orientadas poseen superiores características mecánicas y electroaislantes.

Las películas de polietilenofluorita (*lavsán*) se confeccionan en gruesos de 25 a 100 micras y de 50 a 650 mm en ancho.

Las películas de policloruro de vinilo se fabrican de plástico vinílico y de policloruro de vinilo plastificado. Mayor resistencia mecánica poseen las películas de plástico vinílico pero con inferior flexibilidad. Las de plástico vinílico se confeccionan en gruesos de 100 y más micras, y las películas de policloruro de vinilo plastificado, en gruesos de 20 a 200 micras.

Las películas de triacetato de celulosa (*triacetáticas*) se fabrican no plastificadas (rígidas) teñidas de azul claro, ligeramente plastificadas (incoloras) y plastificadas (teñidas en azul). Estas últimas poseen una notable flexibilidad. Las películas triacetáticas se fabrican en gruesos de 25, 40 y 70 micras y de 500 mm en ancho.

El cartón electroaislante con base película es un material flexible, compuesto de cartón aislante tipo EVP (ЭВП) o EV (ЭВ), encolado por uno de los lados con película de lavsán. Estos cartones con pelí-

[1]) Ftoroplast-4 es el nombre comercial de politetrafluoruro de etileno. (N. del T.).

Características fundamentales de los dieléctricos

Denominación del dieléctrico	Densidad,* g/cm³	Límite de resistencia			Termoestabilidad por Martens, °C
		a la tracción, estática, kgf/cm²	a la flexión estática, kgf/cm²	a la flexión dinámica, $\frac{kgf \cdot cm}{cm^2}$	
Poliestireno	1,05-1,10	350-500	950-1000	12-18	78-80
Poliestireno antichoque estabilizado	1,1	300	550-650	40-50	75
Polietileno de baja densidad (alta presión)	0,92	100-140	120-170	No se rompe	55-60
Polietileno de alta densidad (baja presión)	0,96	220-230	200-350	No se rompe	60-70
Polipropileno	0,91	300-350	900-1000	70-80	Temperatura de reblandecimiento 160-170
Poliformaldehído	1,42	700	1000	90-100	100
Poliuretano	1,21	500-600	700-800	50-60	60
Policaprolactama (caprón)	1,14	500-800	800-950	150-160	50-55

sintéticos de alta polimería

Resistencia a la congelación, °C	Características eléctricas a 20° C				Característica general y campo de aplicación
	resistividad volumétrica, ohm·cm	permeabilidad dieléctrica a 50 Hz	tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas a 50 Hz	rigidez dieléctrica a 50 Hz, kV/mm	
60	10^{15}-10^{17}	2,4-2,7	$(2 \div 4) \times 10^{-4}$	25-30	Material transparente termoplástico. Se usa para la fabricación de armazones, bobinas, placas aislantes, películas
60	10^{15}	2,6	$6 \cdot 10^{-4}$	25	Material opaco termoplástico. Tiene el mismo campo de aplicación que el poliestireno
50-70	10^{15}-10^{17}	2,3	$(2 \div 3) \times 10^{-4}$	40-42	Lo mismo, pero es flexible, hidrófugo e insoluble. Se usa como aislante flexible de cables y conductores en la fabricación de armazones, bobinas, placas aislantes, etc.
—60	10^{15}-10^{17}	2,4	$5 \cdot 10^{-4}$	40-42	Material opaco termoplástico, hidrófugo e insoluble. Se usa para la fabricación de armazones, bobinas, placas aislantes, etc.
—20	10^{15}-10^{17}	2,1	$(2 \div 3) \times 10^{-4}$	30-35	Material transparente termoplástico, hidrófugo e insoluble. Tiene el mismo campo de aplicación que el poliestireno
—45	10^{14}-10^{15}	3,7	$(3 \div 5) \times 10^{-4}$	24	Material opaco termoplástico de elevadas cualidades mecánicas y deslizantes, de baja retracción volumétrica. El campo de aplicación es idéntico al del poliestireno y además se usa en la fabricación de cojinetes y engranajes
—35	10^{14}	4,6	$12 \cdot 10^{-3}$	20-25	Material opaco termoplástico de elevadas cualidades mecánicas. El campo de aplicación es idéntico al del poliestireno y polipropileno, además, se usa para la preparación de barnices y espumas sintéticas
—25	10^{13}-10^{14}	4,0	$(25 \div 40) \times 10^{-3}$	16-20	Material opaco termoplástico. Se usa en la fabricación de piezas para bajo voltaje. Posee elevada higroscopicidad (8-10%)

Denominación del dieléctrico	Densidad,* g/cm³	Límite de resistencia			Termoestabilidad por Martens, °C
		a la tracción estática, kgf/cm²	a la flexión estática, kgf/cm²	a la flexión dinámica, $\frac{\text{kgf}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^2}$	
Polimetilmetacrilato (vidrio orgánico)	1,19	600-700	800-1000	12-16	60-70
Plástico vinílico	1,4	400-500	800-900	90-120	60-70
Policloruro de vinilo plastificado	1,3-1,4	100-180	No se rompe	—	Temperatura de reblandecimiento 170-180° C
Tereftalato de polietileno (lavsán)	1,3-1,4	300	1500	—	Punto de fusión 255° C
Fluoroplast-3 (plástico fluorocarbúrico)	2,10-2,18	300-400	600-800	20-30	70-75
Fluoroplast-4**	2,14-2,25	160-290	120-140	100-120	200-250
Escapón	0,98-1,00	450-600	500-600	10-20	130-150
Ebonita	1,15-1,25	300-500	700-1000	4-15	50-58

* Para expresar densidad, límites de resistencia (a la tracción, a la flexión estática y 10^5, 10^6, 10^3, respectivamente.

** Existen unas cuantas variedades de fluoroplast-4 (fluoroplast-4D, fluoroplast-4M, Estas variedades de fluoroplast-4 se usan principalmente como aislamiento de cables, fio para muestras no templadas, y fácilmente pueden ser maquinadas.

Continuación de la tabla 6

Resistencia a la congelación, °C	Características eléctricas a 20° C				Característica general y campo de aplicación
	resistividad volumétrica, ohm·cm	permeabilidad dieléctrica a 50 Hz	tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas a 50 Hz	rigidez dieléctrica a 50 Hz, kV/mm	
—60	10^{12}-10^{13}	3,6	$6 \cdot 10^{-2}$	15-18	Material transparente termoplástico. Se usa para piezas electroaislantes y como material extinguearcos en los descargadores de alto voltaje
—15	10^{14}	3,5-4,0	$(1+5) \cdot 10^{-2}$	20	Material ininflamable termoplástico antichoque químicamente estable. Se usa en la fabricación de piezas y conjuntos, antichoques y estables en ambientes agresivos
—25÷÷50	10^{13}-10^{14}	4-7	$(3 \div 8) \cdot 10^{-2}$	15-20	Material ininflamable termoplástico y químicamente estable, de considerable flexibilidad. Se usa como aislante flexible de cables y para fabricar tubos y cintas
—55	10^{14}-10^{15}	3,5	$(2 \div 6) \cdot 10^{-3}$	30	Material semitransparente químicamente estable. Se usa en forma de piezas fundidas, películas y fibras
de —185 hasta —195	10^{15}-10^{16}	2,5-3,0	$(10 \div 15) \cdot 10^{-3}$	15-20	Material ininflamable termoplástico corniforme, químicamente estable. Se usa en forma de piezas prensadas y películas
—195	10^{17}-10^{18}	2,0	$(1 \div 3) \cdot 10^{-4}$	27-40	Material opaco ininflamable e insoluble químicamente estable. Las piezas se obtienen mediante aprensado de polvos. Las películas se usan en forma de cintas en los cables y condensadores. Puede utilizarse hasta temperaturas de 250° C
—60	10^{15}-10^{17}	2,8-3,0	$(5 \div 8) \cdot 10^{-4}$	30-35	Material corniforme duro de color amarillo, tolera todo tipo de maquinado. Se elabora en forma de barretas, planchas y tubos. Se usa en los instrumentos eléctricos
—	10^{14}-10^{15}	3,0-3,5	$(5 \div 8) \cdot 10^{-3}$	15-20	Material corniforme duro con base de caucho. Tolera todo tipo de maquinado y troquelado en caliente. Se usa para aislar las piezas en los instrumentos eléctricos

dinámica) en SI es necesario multiplicar los valores correspondientes de la tabla por 10^3.

fluoroplast-40Sh) y se destacan por su elevada flexibilidad y cualidades tecnológicas. xible y resistente al calentamiemto. Las facultades mecánicas del fluoroplast-4 se exhiben

Tabla 7

Características fundamentales de los materiales peliculares electroaislantes

Película	Resistencia al calentamiento, °C	Higroscopicidad en 24 h, %	Límite de resistencia a la tracción, kgf/mm²	Resistencia a la congelación, °C	Características eléctricas a 20° C				Característica general y campo de aplicación
					resistividad volumétrica, ohm·cm	permeabilidad dieléctrica a 50 Hz	tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas a 50 Hz	rigidez dieléctrica a 50 Hz, kV/mm	
De poliestireno	65—70	0,02—0,05	5,0/8,0	de —50 a —60	10^{16}—10^{17}	2,2—2,4	$(2 \div 4)10^{-4}$	80—110	Posee baja resistencia al desgarre. Se disuelve en solventes no polares (benceno, tetracloruro de carbono, etc.). Se utiliza en los condensadores y cables de alta frecuencia
De polietileno	55—65	0,02	1,0/2,5	de —60 a —70	10^{16}—10^{17}	2,2—2,4	$(2 \div 5)10^{-4}$	50—80	A temperatura de ambiente es insoluble. Se usa en los cables de alta frecuencia y en calidad de juntas
De politetrafluoruro de etileno (ftoroplast-4) orientada	220—250	0,00	10/30	de —60 a —100	10^{17}—10^{18}	1,9—2,1	$(1 \div 3)10^{-4}$	100—200	Ininflamable e insoluble. Se usa en los condensadores y cables de alta frecuencia y también en calidad de juntas
De polietilenofluorita (lavsán)	120	0,02	9/18	de —60 a —65	10^{13}—10^{14}	3,0—3,2	0,002—0,007	140—165	Posee alta resistencia al desgarre. Se utiliza en el aislamiento de ra-

									nuras para motores de bajo voltaje
Poliamídicas (caprón)	100—120	2—6	3,0/8,5	—15	10^{12}—10^{13}	3,6—4,0	0,03—0,08	30—60	Películas ininflamables elásticas transparentes de gran resistencia al desgarre. Se utilizan en calidad de juntas aislantes. Inestables ante la humedad
De policloruro vinilo	60—70	0,14—0,25	8/15	de —35 a 50	10^{12}—10^{14}	3,5—4,2	0,01—0,05	15—25	Cintas aislantes resistentes a los aceites, solventes, ozono y humedad
De triacetato de celulosa	100—105	2,8—6,0	9,0/12	—40	10^{14}—10^{15}	3,2—3,6	0,007—0,009	80—130	Se utiliza en el aislamiento de ranuras para motores eléctricos de bajo voltaje
Cartón eléctrico pelicular con sostén de lavsán	120	—	6,0/12,0	—45	10^{13}—10^{14}	5—6	0,01 ÷ 0,04	30—35	Se usa en calidad de aislante de ranura para motores eléctricos de bajo voltaje, y hasta temperaturas de 120° C
Cartón de amianto pelicular	130	—	5,0/9,0	—45	10^{13}—10^{14}	8—10	—	20—25	Lo mismo, pero se usa a temperatura hasta 130° C

Observaciones:

1. Para expresar el límite de resistencia a la tracción en el sistema de unidades SI $\left(\frac{N}{m^2}\right)$ es imprescindible multiplicar por 10^5 los valores exhibidos en las tablas.

2. Los valores inferiores del límite de resistencia a la tracción (numerador) corresponden a las muestras recortadas transversalmente al rollo, los superiores (denominador) corresponden a las muestras recortadas longitudinalmente.

§ 10. Cintas electroaislantes

Tabla 8

Características fundamentales de las cintas electroaislantes

Denominación de la cinta	Espesor, mm	Ancho, mm	Límite de resistencia a la tracción, kgf/cm²	Rigidez dieléctrica a 50 Hz, kV/mm	Característica general y campo de aplicación
Alquitranada	0,6; 0,8; 0,10	30; 50; 60; 75	10-11 *	1,5-2,5	Cinta de algodón, impregnada con composiciones bituminosas. Se usa para sellar cables en empalmes y cajas
Engomada	0,2; 0,3	10; 15; 20; 25; 50	6-7 *	3,3-5,0	Cinta de percal impregnada con pasta de goma pegajosa. Se usa para aislar alambres en redes de bajo voltaje
De policloruro de vinilo	0,2; 0,3; 0,4; 0.45	15; 20; 30; 50	80-85	5-6	Cinta de plástico de policloruro de vinilo, recubierta por una de las partes con composición pegajosa. Se usa para aislar empalmes en dispositivos de bajo voltaje
fluorocarbúrica (no orientada)	0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 3.0	50-90	150-155	40-42	Cinta de fluoroplast-4 (no orientada). Se usa para juntas aislantes, que funcionan desde —60 hasta +250° C
De tereftalato de polietileno	0,235	60-100	1500-1700	22-25	Cinta transparente de lavsán de elevada resistencia mecánica. Se usa en dispositivos de bajo voltaje

*) Rigidez mecánica convencional $\left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm de ancho}}\right)$.

culas de lavsán tienen un espesor de 0,27 y 0,32 mm, se confeccionan en rollos de 500 mm de ancho.

El cartón de amianto con base pelicular es un material flexible electroaislante, compuesto por una película de lavsán de 50 micras de espesor, encolada por las dos partes con papel de amianto de 0,12 mm de espesor. El cartón de amianto con base pelicular se fabrica en forma de hojas de 400 por 400 mm (no inferior) y con un espesor de 0,3 mm.

§ 11. *Barnices y esmaltes electroaislantes*

Los barnices son soluciones en solventes orgánicos de sustancias formadoras de estructuras peliculares: resinas, betunes, aceites secables (de linaza, de tung, etc.), éter de celulosa o compuestos de estos materiales. Durante el proceso de secado del barniz se evaporan los solventes, y en la base barnizadora transcurren procesos fisicoquímicos, los cuales contraen la formación de películas sólidas. Con respeto a su empleo los barnices se dividen en impregnantes, de recubrimiento y conglutinosos.

Los barnices impregnantes se aplican a los enrrollados de las máquinas y aparatos eléctricos con el fin de cementar las espiras del bobinado, aumentar el coeficiente de conductibilidad térmica y la resistencia a la humedad de las bobinas. *Los barnices de recubrimiento* permiten crear en la superficie de las bobinas, o distintas piezas aislantes, revestimientos protectores óleorresistentes, hidrófugos, etc. *Los barnices conglutinosos* están destinados para pegar las hojuelas de mica entre sí, o con papel y telas, con el fin de elaborar materiales de mica electroaislantes (micanita, cintas de mica y otros).

Los esmaltes son barnices con pigmentos introducidos: rellenos inorgánicos (óxido de zinc, bióxido de titanio, minio ferroso, etc.). Los pigmentos se introducen con el propósito de aumentar la dureza, la resistencia mecánica, a la humedad, a los arcos eléctricos y otras cualidades de las películas creadas con esmaltes. Los esmaltes son materiales de recubrimiento.

De acuerdo con los métodos de secado se diferencian barnices y esmaltes de secado en caliente (en hornos) y de secado en frío (al aire). Los primeros para su solidificación necesitan temperaturas elevadas (de 80 a 200° C), y los segundos se secan a temperatura del ambiente. Los barnices y esmaltes de secado en caliente poseen, como regla, mejores cualidades dieléctricas, mecánicas y demás propiedades. Con el fin de mejorar las características de los barnices y esmaltes de secado en frío, y también para acelerar la solidificación, el secado de los mismos a veces lo realizan a temperaturas acrecentadas (de 40 a 80° C).

Los principales grupos de barnices se diferencian por las siguientes particularidades.

Los barnices de aceite, después del secado, forman películas flexibles y elásticas de color amarillo, resistentes a la humedad y a los aceites minerales calentados. Por su resistencia al calentamiento estos barnices pertenecen a la clase A. En los barnices de aceite se utilizan aceites deficitarios, de linaza y de tung, por tanto estos barnices son sustituidos por barnices basados en resinas sintéticas de mayor estabilidad al envejecimiento térmico.

Los barnices de aceite bituminosos forman películas de color negro, resistentes al agua, pero fácilmente solubles en aceites minerales (aceites para transformador y lubricantes). Por su resistencia al calentamiento estos barnices pertenecen a la clase A (105° C).

Los barnices y esmaltes gliftálicos[1]) *y oleogliftálicos* se destacan por su buena capacidad conglutinosa respecto a la mica, papeles, telas y masas plásticas. Las películas de estos barnices poseen mayor resistencia al calentamiento (clase B). Son estables al aceite mineral calentado, pero requieren secado en caliente (en el horno) a temperaturas de 120 a 130° C.

Los barnices gliftálicos puros, basados en la resina gliftálica no modificada, forman películas inflexibles duras (barnices N 1155 y otros) y se utilizan en la fabricación del aislamiento de mica dura (micantita dura). Los barnices oleogliftálicos, después de haberse secado, forman películas flexibles elásticas de color amarillo.

Los barnices y esmaltes silicoorgánicos se destacan por su alta resistencia al calentamiento y pueden largo tiempo funcionar a temperaturas de 180—200° C (clase H y C), por tanto se aplican conjuntamente con aislantes de fibras vítreas y de mica. Las películas de estos barnices poseen características eléctricas de alto nivel, y éstas varían poco durante el proceso de envejecimiento de los barnices. Además, las películas son resistentes a la humedad y a las chispas eléctricas.

Los barnices y esmaltes basados en resinas de policloruro de vinilo y de perclorovinil se distinguen por su estabilidad al agua, a los aceites calentados, a los reactivos químicos ácidos y alcalinos; por tanto se utilizan para recubrir y proteger las bobinas, y también las piezas metálicas contra la corrosión. Debe tenerse en cuenta que los barnices y esmaltes de policloruro de vinilo y de perclorovinil poseen baja adhesión a los metales. Estos últimos inicialmente se recubren con sustancias de mayor adherencia al metal, basadas en resinas gliftálicas y otras, y posteriormente con barnices y esmaltes basados en resinas de policloruro de vinilo o de perclorovinilo. El secado de estos esmaltes se realiza a una temperatura de 20° C, y también a 50—60° C.

La temperatura de trabajo no alta (60—70° C) es el defecto de los recubrimientos de policloruro de vinilo y de perclorovinilo.

---

[1]) El nombre gliftal procede de las abreviaturas de glicerina y de fluoruro. (N. del T.)

Los barnices y esmaltes basados en resinas epoxídicas se destacan por sus altas cualidades conglutinantes y una resistencia al calentamiento algo elevada (hasta 130° C).

Los barnices basados en resinas alquídicas y fenólicas (barnices fenolalquídicos) se diferencian por su buena secabilidad en capas gruesas formando películas elásticas, que pueden funcionar largo tiempo a temperaturas de 120—130° C (clases E y B). Las películas de estos barnices son resistentes a la humedad y a los aceites.

Los barnices de emulsión acuosa son emulsiones de elementos barnizadores estables en agua corriente. Los elementos barnizadores se elaboran de resinas sintéticas (de fenolformaldehído) y también de aceites secables (de linaza, de tung) y de sus mezclas. Los barnices de emulsión acuosa son inexplosibles e ininflamables, puesto que no contienen solventes orgánicos fácilmente inflamables. Gracias a su baja viscosidad los barnices de emulsión acuosa poseen altas cualidades impregnantes. Estos barnices se usan para impregnar las bobinas móviles e inmóviles de las máquinas y aparatos eléctricos, que normalmente funcionan a temperaturas hasta 105° C (clase A). En las tablas 9 y 10 se muestran las características principales de los barnices y esmaltes electroaislantes ampliamente usados en la electrotecnia.

§ 12. *Compuestos electroaislantes*

Se llaman *compuestos* composiciones electroaislantes, líquidas en el momento de aplicar y que posteriormente se solidifican. Los compuestos no contienen solventes.

De acuerdo con su empleo los compuestos se dividen en impregnantes y de relleno. Los primeros se aplican para impregnar los devanados de las máquinas y aparatos eléctricos, los segundos, para rellenar las cavidades en los acoplamientos de cables, así como en los aparatos e instrumentos eléctricos (transformadores, bobinas de choque, etc.) con el fin de hermetizarlos.

Los compuestos pueden ser termofijos y no se ablandan después de su solidificación; o termoplásticos, ablandables en ulteriores calentamientos. A los termofijos pertenecen los compuestos basados en resinas epoxídicas, de poliéter y algunas otras; a los termoplásticos pertenecen los basados en betunes, en dieléctricos de cera y en polímeros plásticos (poliestireno, poliisobutileno y otros). Los compuestos impregnantes o fundentes basados en betunes por su resistencia al calentamiento pertenecen a la clase A (105° C) y algunos a la clase Y (hasta 90° C). La mayor resistencia al calentamiento poseen los compuestos epoxídicos y silicoorgánicos.

Los compuestos МВК (МБК) se fabrican con base de éteres metacrílicos y se aplican como impregnantes y de relleno. Después de haberse solidificado a temperaturas de 70 a 100° C (con solidificantes especiales a 20° C), estos compuestos son ya termofijos y pueden utilizarse en un margen de temperaturas de —55 hasta +105° C.

Tabla 9

Características fundamentales de los barnices electroaislantes

Clasificación del barniz por la base	Número del barniz o denominación*	Régimen de secado		Termoestabilidad de las películas a 105° C, horas	Características eléctricas a 20° C		Diluentes	Característica general y campo de aplicación
		temperatura, °C	tiempo, horas		ρ_v, ohm·cm	E_r a 50 Hz, kV/mm		
Barnices de aceite	152	105	0,5-1,0	1-3	10^{12}-10^{14}	55-60	Mezcla de xilol y espíritu de petróleo	Barniz impregnante y de recubrimiento, se usa para reparar las máquinas eléctricas
	202	210	15-17 min	5-7	10^{12}-10^{13}	50-60	Lo mismo	Barniz de recubrimiento para aislar las hojas de acero electrotécnico
	302	210	12-14 min	6-8	10^{12}-10^{13}	60-70	Espíritu de petróleo, aceite de trementina	Lo mismo
Barniz oleocrisólico	9-627	105	20-30 min	25-30	10^{13}-10^{14}	50-60	Xilol, toluol	Barniz hidrófugo, de secado rápido y altas facultades cementosas para impregnar devanados
Barnices oleobituminosos	BT-95 (441)	150	15-18	A 150° C 15-18	10^{13}-10^{14}	70-75	Xilol, espíritu de petróleo y sus mezclas	Barniz aglutinante de secado en caliente para pegar mica (micanita flexible, cinta de micanita)
	447	105	7-8**	A 150° C 7-10	10^{14}-10^{15}	55-65	Toluol, espíritu de petróleo, aceite de trementina, gasolina	Barniz para impregnar devanados, de altas facultades impregnantes. Las películas son altamente hidrófugas
	458	105	3-5**	A 150° 2-3	10^{14}-10^{15}	55-60	Lo mismo	Lo mismo, pero las películas de este barniz son menos flexibles y se solidifican aceleradamente

	460	105	8-10	A 150° C 12-15	10^{14}-10^{15}	60-70	Lo mismo	Barniz impregnante y de recubrimiento, sus películas son de alta elasticidad; necesita elevadas temperaturas de secado (120-130° C)
	BT-99 (462-P)	20	2-3	1-2	10^{14}-10^{15}	50-60	Espíritu de petróleo, disolvente de carbón de piedra	Barniz de recubrimiento, de secado al aire (20° C), produce películas elásticas, pero relativamente blandas
	462-K	20	2-3	12-15	10^{13}-10^{14}	60-70	Toluol, xilol	Barniz aglutinante, de secado al aire (20° C), produce películas flexibles y elásticas; se usa en la fabricación de mica aislante y flexible
Barnices oleobituminosos	317	20	12-14**	10-12	10^{13}-10^{14}	40-45	Gasolina, toluol	Barniz de recubrimiento y secado al aire, se usa para reparar máquinas eléctricas de bajo voltaje
Barnices oleogliftálicos	GF-95 (1154)	105	1-2	A 150° C 48-100	10^{14}-10^{15}	70-75	Xilol, disolvente gasolina, aceite de trementina y sus mezclas	Barniz impregnante y de recubrimiento, para impregnar los devanados que funcionan en aceite
	7-627	105	2-3	120-150	10^{14}-10^{15}	60-75	Toluol, xilol, gasolina, nafta disolvente y sus mezclas	Barniz aglutinante e impregnante, para barnizar las hojas de acero electrotécnico y para impregnar devanados de máquinas eléctricas
	KF-95 (321)	105	1-2	A 150° C 12-20	10^{15}	60-70	Xilol, gasolina, espíritu de petróleo y sus mezclas	Barniz impregnante y de recubrimiento, de secado acelerado. Se usa para impregnar devanados que funcionan en aceites y en ambiente húmedo
	MGM 8	105	5-6	A 150° C 35-50	10^{14}-10^{15}	80-95	Lo mismo	Barniz impregnante, hidrófugo y químicamente estable, de buenas facultades cementosas

Continuación de la tabla 9

Clasificación del barniz por la base	Número del barniz o denominación*	Régimen de secado		Termoestabilidad de las películas a 105° C, horas	Características eléctricas a 20° C		Diluentes	Característica general y campo de aplicación
		temperatura, °C	tiempo, horas		ρ_v, ohm·cm	E_r a 50 Hz, kV/mm		
Barniz alquídico-melamínico	ML-92	105	0,6-1,0	A 150° C 24-35	10^{13}-10^{14}	60-70	Mezcla de toluol y espíritu de petróleo	Barniz impregnante y de recubrimiento, de elevadas cualidades hidrófugas y buena secabilidad en capas gruesas
Barniz alquídico-resólico	FL-98 (ARB-1)	120	1-2	A 150° C 30-50	10^{14}-10^{15}	80-85	Mezcla de xilol y espíritu de petróleo	Barnices impregnantes de altas facultades cementosas
Barniz alquídico-oleoso	FA-97 (AF-17)	120	1-2	A 150° C 30-40	10^{14}-10^{15}	70-80	Xilol	
Barniz de poliéter epoxídico	PE-933 (etr-5)	150	1,5-2,0	A 150° C 200	10^{14}-10^{15}	80-85	Mezcla de toluol y etilcelosolve	Barniz impregnante, forma películas duras y de elevadas cualidades hidrófugas. Resistencia al calentamiento 155° C
Barnices silicoorgánicos	EF-3BS	200	1,5-2,0	A 200° C 20-25	10^{14}	63-70	Mezcla de gasolina y aceite de trementina	Barniz impregnante. Resistencia al calentamiento 180° C
	EF-3BSU	200	1,5-2,0	A 200° C 40-45	10^{14}	65-72	Lo mismo	Lo mismo
	K-47K	200	12-15 min	A 200° C 50-60	10^{13}	60-65	Xilol	Lo mismo
	K-47	200	12-20 min	A 200° C 50-70	10^{14}-10^{15}	60-70	Etilcelosolve	Barniz de recubrimiento para los aceros electrotécnicos y otros. Resistencia al calentamiento 180° C

	K-55	20	2-3	A 200° C 75-85	10^{13}-10^{14}	50-60	Xilol	Barniz impregnante y de recubrimiento, hidrófugo y resistente al ambiente tropical. Resistencia al calentamiento 180° C
	K-55-S	150	0,5	A 200° C 75-90	10^{13}-10^{14}	50-60		
	K-56	200	1,0	A 200° C 150-170	10^{13}-10^{14}	50-65	Xilol	Lo mismo
	K-57	200	25-30 min	A 200° C 100-120	10^{13}-10^{14}	50-65	Toluol	Barniz impregnante. Resistencia al calentamiento 200° C brevemente hasta 300° C
	K-60	200	1,5-2	A 200° C 150-170	10^{13}-10^{14}	50-65	Lo mismo	Lo mismo
	K-71	200	1-2	A 200° C 50-60	10^{13}-10^{14}	50-65	Espíritu de petróleo	Barniz de recubrimiento. Resistencia al calentamiento hasta 180° C; se usa también para barnizar los aceros electrotécnicos
	KO-947	200	1-2	A 250° C 150-200	10^{16}	85-100	Xilol	Barniz impregnante de buena secabilidad en capas gruesas. Resistente a la humedad. Resistencia al calentamiento hasta 180° C
	KO-964	200	1-1,5	A 200° C 300-400	10^{16}	85-115	Lo mismo	Lo mismo
Barnices de emulsión acuosa	321-V	105	2-3**	A 150° C 20-30	10^{13}-10^{14}	30-35		Barnices impregnantes para devanados de máquinas eléctricas de bajo voltaje, clase A (105° C)
	321-T	105	2-3**	A 150° C 25-35	10^{14}-10^{15}	32-40	Agua potable	
	PFL-8v	125	0,5-1**	A 150° C 10-15	10^{14}-10^{15}	45-50		

* Entre paréntesis se exhibe la denominación anterior de los barnices.
** El tiempo de secado del barniz en papel de condensador.

Clasificación del esmalte por la base	Número del esmalte o designación*	Color de la película de esmalte	Régimen de secado		Termoestabilidad (termoelasticidad, horas)
			temperatura de secado, °C	tiempo de secado, horas	
Oleogliptálicos	GF-92-GS (SPD)	Gris	105	3-4	A 150° C 10-12
	GF-92-JS (SVD)	Gris	20	20-24	A 150° C 1-3
	GF-92-JK (KVD)	Rojo	20	20-24	A 150° C 1-3
Nitrogliptálicos	1201	Rosado	20	13-16	A 105° C 2-5
	1202	Marrón claro	20	2-4	A 105° C 2-5
Con base en resinas gliptálicas y de carbamida	U-416	Gris	105	0,5-1,0	A 150° C 3-5
	U-417	Negro	105	0,5-1,0	A 150° C 3-5

Tabla 10

de los esmaltes electroaislantes

Características eléctricas a 20° C		Diluentes	Característica general y campo de aplicación
ρ_v, — ohm·cm	E_r a 50 Hz, kV/mm		
10^{13}-10^{14}	50-60	Mezcla de toluol y espíritu de petróleo; solvente de carbón de piedra	Barniz oleogliptálico pigmentado con litopón y pirolusita. Después del secado en caliente (105° C) los esmaltes adquieren óleorresistencia y resistencia al arco eléctrico. Se usa para recubrir los devanados que funcionan a temperaturas hasta 130° C
10^{12}-10^{13}	30-35	Lo mismo	Lo mismo, pero con secante adicionado para secar a 20° C. El esmalte se usa para proteger solamente los devanados inmóviles de las máquinas eléctricas con aislamiento de clase A (105° C)
10^{12}-10^{13}	30-35	Mezcla de toluol y acetato butílico	Barniz oleogliptálico pigmentado con sanguina y con secante adicionado para secar a 20° C. El esmalte se usa para proteger solamente los devanados fijos de las máquinas eléctricas y piezas de plástico
10^{13}-10^{14}	30-40	Mezcla de toluol y acetato etílico	Barniz nitrogliptálico pigmentado se seca rápidamente a 20° C. Las películas de esmaltes forman recubrimientos oleorresistentes de elevada dureza. Se usa para proteger los devanados que funcionan a temperaturas hasta de 105° C
10^{13}-10^{14}	50-65	Lo mismo	Lo mismo, pero con colodión adicionado. Las películas y esmaltes son resistentes a los aceites y la gasolina, se secan rápidamente
10^{12}-10^{14}	50-65	Mezcla de xilol y butanol	Barniz oleogliptálico pigmentado con litopón y pirolusita, modificado con resina de melamina-formaldehído. Después del secado en caliente (105° C) las películas del esmalte adquieren la calidad de resistencia al aceite, gasolina y agua
10^{12}-10^{14}	70-80	Mezcla de xilol y butanol	Lo mismo, pero con elevadas características eléctricas. Los esmaltes U-416 (Y-416) y U-417 (Y-417) se usan para proteger los devanados de las máquinas y aparatos eléctricos contra los aceites y la humedad

Clasificación del esmalte por la base	Número del esmalte o designación*	Color de la película de esmalte	Régimen de secado		Termoestabilidad (termoelasticidad), horas
			temperatura de secado, °C	tiempo de secado, horas	
Epoxídicos	EP-51	Blanco, gris oscuro y otros	180	1-2**	A 150° C 6-8
	EP-91	Verde	180	2-3**	Lo mismo
	OEP-4171-1	Lo mismo	120	1,5-2	Lo mismo
Silicoorgánicos	KO-911	Rosado y marrón	20	22-24	A 200° C 48-50
	KO-918	Marrón	120-200	2+16***	A 200° C 200-300
	PKE-13	Rosado	200	2-3	A 200° C 120-150
	PKE-19	Rosado	120	1-2	A 200° C 80-150
	PKE-22	Rojo-marrón	120	1-2	A 200° C 80-120
	PVE-2	Rosado	20	20-24	A 150° C 80-100

Continuación de la tabla 10

Características eléctricas a 20° C		Diluentes	Característica general y campo de aplicación
ρ_v, ohm·cm	E_r a 50 Hz, kV/mm		
10^{13}-10^{14}	50-60	Toluol, xilol alcohol etílico y sus mezclas	Barniz epoxialquídico pigmentado. Forma recubrimientos estables al aceite y a la humedad (hasta 120° C)
10^{14}-10^{15}	60-70	Lo mismo	Barniz epoxifenólico pigmentado. Los recubrimientos pueden resistir hasta los 130° C
10^{15}	50-65	Toluol	Recubrimientos protectores sobre los devanados de las máquinas eléctricas de bajo voltaje
10^{12}-10^{13}	50-65	Lo mismo	Recubrimientos protectores sobre los devanados de las máquinas eléctricas con aislamiento clase H (180° C)
10^{14}-10^{16}	70-90	Toluol	Lo mismo, pero con características mecánicas elevadas
10^{13}-10^{14}	40-55	Lo mismo	Barniz silicoorgánico K-48 pigmentado con sanguina y bióxido de titanio. Las películas del esmalte poseen alta óleorresistencia. El esmalte se usa para recubrir los devanados que prolongadamente funcionan a 180° C, y también en condiciones de elevada humedad
10^{13}-10^{15}	40-80	Lo mismo	Barniz silicoorgánico K-54 pigmentado con sanguina y bióxido de titanio. Las películas del esmalte poseen elevada dureza, resistencia a los aceites y la humedad. El esmalte se usa para recubrir los devanados que funcionan en atmósfera húmeda y condiciones tropicales
10^{13}-10^{14}	40-60	Toluol	Barniz silicoorgánico K-54 pigmentado con sanguina. Se usa para recubrir las partes frontales de las bobinas y durante las reparaciones de las máquinas y aparatos eléctricos que funcionan en atmósfera húmeda y condiciones tropicales
10^{13}-10^{14}	30-50	Lo mismo	Barniz alquido-silicoorgánico pigmentado con sanguina y bióxido de titanio. El esmalte se usa durante las reparaciones y para rectificar los defectos en los recubrimientos formados por esmaltes PKE-14, PKE-19, PKE-22 de las partes frontales de las bobinas

Clasificación del esmalte por la base	Número del esmalte o designación*	Color de la película de esmalte	Régimen de secado		Termoestabilidad (termoelasticidad), horas
			temperatura de secado, °C	tiempo de secado, horas	
Perclorovinílicos	JSE-26	Rojo-marrón	20	1-2	A 100° C 15-20
	PJV-1	Blanco	20	2-3	A 100° C 10-15
	PJV-21	Rojo	20	2-3	A 100° C 10-15
	PJV-23	Gris	20	2-3	A 100° C 12-35
Semiconductores oleobituminosos	9000	Negro	20	1-2	A 150° C 25-40
	9001	Negro	20	1-2	A 150° C 45-50

* Entre paréntesis se exhiben las designaciones anteriores de los esmaltes.
** Los esmaltes epoxídicos se secan en régimen escalonado: la primera capa se seca capa se seca durante 1 hora a 20° C + 20 min a 50° C + 30 min a 95° C + 1,5 h a 180° C.
*** El esmalte KO-918 se seca escalonadamente: la primera capa se seca durante 1 20° C + 3 h a 120° C + 12 — 16 horas a 180° C.

Los compuestos MBK (МБК) poseen baja retracción volumétrica (1—2%) y gran capacidad impregnante. Respecto a los metales son químicamente inertes, pero reaccionan con la goma.

Los compuestos KGMS-1 (КГМС-1) y KGMS-2 (КГМС-2) en su estado inicial son soluciones de poliéteres en estireno monómero con solidificantes adicionales. En su estado final, listos para funcionar, son dieléctricos sólidos termofijos y soportan prolongadamente su aplicación en un margen de temperaturas de —60 a +120° C (clase de resistencia al calentamiento E). Al elevarse la temperatura hasta 220—250° C, los compuestos MBK (МБК) y KGMS (КГМС) ya solidificados se reblandecen algo superficialmente. La solidificación rápida de los compuestos KGMS (КГМС) sucede a temperaturas de 80 a 100° C. A 20° C el proceso de solidificación de estos compuestos es lento. La masa impregnante inicial (mezcla de poliéter con esti-

Continuación de la tabla 10

Características eléctricas a 20° C		Diluentes	Característica general y campo de aplicación
ρ_v, ohm·cm	E_r a 50 Hz, kV/mm		
10^{13}-10^{15}	35-50	R-4	Barniz perclorovinílico pigmentado, modificado con resina alquídica. Las películas del esmalte son resistentes a los aceites minerales y al agua
10^{12}-10^{14}	20-40	R-4	Barniz perclorovinílico pigmentado, modificado con resina alquídica. Las películas del esmalte poseen alta resistencia a los aceites minerales y la agua
10^{12}-10^{14}	25-40	R-4	
10^{12}-10^{13}	25-40	R-4	Barniz perclorovinílico pigmentado, modificado con plastificantes. El esmalte se usa para proteger los metales, descargadores tubulares y piezas de masas plásticas
10^{5}-10^{6}	—	Queroseno de laca, nafta disolvente, gasolina	Barniz oleobituminoso pigmentado con hollín y grafito. Se usa para crear recubrimientos semiconductores en las partes de los devanados, donde se observa un campo eléctrico heterogéneo
10^{8}-10^{9}	—	Queroseno de laca, nafta disolvente, gasolina	Lo mismo, pero las películas de los esmaltes poseen valores algo elevados de resistividad volumétrica y superficial

durante 1 hora a 20° C + 20 min a 50° C + 30 min a 95° C + 1 hora a 180° C; la segunda hora a 20° C + 3h a 120° C; la segunda capa se seca durante 1 hora a 20° C + 3h a

reno y solidificantes) se prepara a temperatura del ambiente. Los compuestos KGMS (КГМС) contraen la oxidación de los cables de cobre no protegidos.

Los compuestos epoxídicos y epoxídico-polietéricos se destacan por su baja retracción volumétrica (0,5—2,5%). En su estado inicial son una mezcla de resina epoxídica con poliéter y solidificantes (anhídridos maleíco y ftálico y otras sustancias), a veces se le agrega relleno (cuarzo pulverizado y otros).

La solidificación de los compuestos epoxídico-polietéricos puede realizarse tanto a temperaturas elevadas (de 100 a 120° C), como a temperatura del ambiente. En su estado final los compuestos epoxídicos y epoxídico-polietéricos son sustancias termofijas, que pueden prolongadamente funcionar en un margen de temperaturas desde —50 hasta +120 ÷ 130° C (clase de resistencia al calentamiento E y B).

Tabla 11

Características fundamentales de los compuestos electroaislantes para impregnar

Tipo o denominación	Partes principales de los compuestos	Punto de reblandecimiento, °C	Estabilidad a la congelación (no mayor), °C	Retracción volumétrica al enfriar (no mayor), °C	Características eléctricas a 20° C			Característica general y campo de aplicación
					ρ_v, ohm·cm	E_r, kV/mm	tg δ a 50 Hz	
225-D	Betún de Ujtá, colofonia, aceite de linaza deshidratado	98-102	—25	8,0-8,5	10^{13}-10^{14}	20-22	0,02-0,03	Masa termoplástica hidrófuga de color negro. Se utiliza para impregnar los devanados de las máquinas y aparatos eléctricos (a presión de 6 a 8 at y 160° C)
225-R	Lo mismo, en otra proporción	45-55	—30	8,0-8,5	10^{13}-10^{14}	20-22	—	Se usa para diluir el compuesto 225-D
KGMS-1	Poliéter insaturado N° 1, estireno, peróxido de benzoílo, hidroquinona	250*	—60	6,0-7,0	10^{13}-10^{14}	18-22	0,02-0,04	Masa termofija de color amarillo, de buenas cualidades adhesivas, hidrófugas y alta resistencia mecánica. Se usa para impregnar y rellenar transformadores y aparatos eléctricos que funcionan a temperaturas hasta 120° C
KGMS-2	Poliéter insaturado N° 2, estireno, peróxido de benzoílo, hidroquinona	250*	—60	8,0-10,0	10^{13}-10^{14}	18-20	0,02-0,04	Lo mismo, pero el compuesto posee elasticidad
MBK-1	Eter metacrílico	250*	—50	0,5-1,0	10^{12}-10^{14}	12-15	0,03-0,06	Masa termofija, se usa para impregnar y rellenar los devanados de las máquinas y de bloques de aparatos eléctricos
MBK-2	Eter metacrílico, plastificante	200*	—60	0,5-1,0	10^{12}-10^{14}	10-15	0,03-0,04	Lo mismo, pero para conseguir una impregnación más elástica

MBK-3	Eter metacrílico, plastificante	200*	—60	0,5-1,0	10^{13}-10^{14}	10-15	0,03-0,04	Lo mismo, y para conseguir una impregnación más elástica, semejante a la goma, u obtener bloques de relleno
KP-10	Mezcla de poliéteres con poliéteres acriláticos y secantes	No se reblandece	—50	—	10^{12}-10^{13}	20-22	0,02-0,04	Masa termofija, se usa para impregnar los devanados de las máquinas y aparatos eléctricos. Garantiza una alta cementación y reducido tiempo de secado
KP-18	Lo mismo, pero en otra proporción	Lo mismo	—50	—	10^{12}-10^{13}	20-22	0,03-0,05	Lo mismo, pero hidrófugo y de mayor estabilidad
K-43	Composición basada en polisiloxano de metilfenilo y linoleato de plomo	Lo mismo	—60	5-8	10^{14}-10^{15}	35-50	0,005-0,008	Se usa para impregnar los devanados de las máquinas y aparatos eléctricos, que funcionan a 180° C y en condiciones de alta humedad. El secado se realiza escalonadamente a 180 y 200° C
K-67	Composición basada en polisiloxano orgánico con relleno inorgánico	Lo mismo	—60	5-6	10^{16}	20-22	0,008-0,010	Lo mismo, pero de mayor facultad de cementación

* A esta temperatura el compuesto se reblandece un poco superficialmente

Tabla 12

Características fundamentales de los compuestos electroaislantes para rellenar

Tipo o denominación	Partes principales de los compuestos	Punto de reblandecimiento, °C	Estabilidad a la congelación (no mayor), °C	Retracción volumétrica al enfriar (no mayor), °C	Características eléctricas a 20° C			Característica general y campo de aplicación
					ρ_v, ohm·cm	E_r, kV/mm	tg δ a 50 Hz	
MK-45	Colofonia, aceite mineral (avtol o para cilindros)	45-48*	—8	6-7	10^{12}-10^{13}	14-16	—	Se usa como relleno en cajas de empalme y terminales de los cables de 35 kV, y también para caldear los terminales de cables con voltajes hasta 3 kV
MB-70	Betunes tipo BN-V y BN-III	70-73*	—10	8-9	10^{13}-10^{14}	15-18	—	Se usa como relleno en cajas de empalme y terminales de los cables de 10 kV, soterrados o tendidos en edificios no calentados (hasta —10° C)
MB-90	Betunes tipo BN-V y BN-III-U o G y BN-III	90-92*	—10	8-9	10^{13}-10^{14}	14-16	—	Se usa para rellenar cajas de empalme y terminales de los cables con voltajes hasta 10 kV, tendidos en edificios calentados
MBM-1 (E-3)	Betunes tipo BN-V, BN-III y aceite para transformador	50-62*	—35	7-8	10^{13}-10^{14}	15-17	—	Lo mismo, pero para instalaciones a la intemperie con temperaturas hasta —35° C
MBM-2	Lo mismo, pero en otras proporciones	55-60*	—45	7-8	10^{13}-10^{14}	15-17	—	Lo mismo, pero para instalaciones a la intemperie con temperaturas hasta —45° C
KIZ-158-VEI	Base de resinatos de colofonia y betún	80-82*	—40	0,9-1,1	10^{12}-10^{13}	10-13	0,05-0,08	Masa elástica e hidrófuga, de color negro y baja retracción volumétrica. Se obtiene de dos compuestos iniciales y se solidifica durante 2-6 horas después de mezclar. Se usa para rellenar las cajas de empalme y aisladores

K-30K	Compuesto de poliuretano con relleno (cuarzo pulverizado)	No se reblandece	—80	2-3	10^{12}-10^{13}	21-23	0,05-0,08	Masa elástica, se usa para rellenar distintos conjuntos de los aparatos e instrumentos eléctricos que funcionan a temperaturas de —80° C hasta +150° C
K-31	Lo mismo, pero sin relleno	Lo mismo	—80	3-4	10^{13}-10^{14}	27-29	0,03-0,05	Lo mismo, pero a temperaturas desde —80 hasta +120° C
EK-3	Resina epoxídica ED-6 con endurecedor	150**	—50	1-2	10^{11}-10^{15}	45-47	0,003	Masa dura, frágil, de altas cualidades aglutinantes. Se usa a temperaturas desde —50 hasta +155° C. Se endurece a los 120° C
K-168	Resina epoxídica ED-6, poliéter IGF-9, hexametilendiamina	No se reblandece 120**	—60	0,5-1,5	10^{12}-10^{13}	25-30	0,02-0,04	Lo mismo, pero la solidificación del compuesto se realiza a los 20° C, estable al moho
K-293	Resina epoxídica ED-6, poliéter IGF-9, cuarzo pulverizado, ftalato dibutílico	150**	—60	1-2	10^{12}-10^{13}	20-25	0,05-0,08	Lo mismo, pero la solidificación se realiza a los 120° C
Viksint K-18	Compuesto silicoorgánico	150	—60	2-3	10^{13}-10^{14}	15-18	0,01-0,02	Masa elástica, hidrófuga, resistente al calentamiento (hasta 250° C), de color blanco
T-10	Compuesto epoxisilicoorgánico con relleno	150	—60	1-2	10^{14}-10^{15}	20-25	0,005	Masa dura, resistente al calentamiento (hasta 220° C), hidrófuga, de buena adhesividad con los metales, cristales, cerámicas
RGL-450	Eter de glicerinaresorcina	70**	—55	7,0-7,5	10^{10}-10^{12}	14-18	0,02-0,06	En estado sólido es una masa elástica, semejante a la goma, de color amarillo oscuro, resistente a las vibraciones, insoluble en aceites, diluentes orgánicos y agua
KETs	Colofonia, etilcelulosa, céresina	125*	—60	7-9	10^{14}-10^{15}	20-22	0,005-0,008	Masa termoplástica de color marrón claro, altamente hidrófuga, puede usarse hasta temperaturas de 90—100° C

* Punto de goteo.
** Termoestabilidad por Martens.

Todos los compuestos de relleno en frío se destacan por su baja retracción volumétrica, y para preparar la masa inicial de relleno no requieren calentamiento previo. A estos compuestos pertenecen los conjuntos basados en resinas epoxídicas, tipo RGL (РГЛ), KJZ-158-VEI (КХЗ-158-ВЭИ), etc. Los compuestos silicoorgánicos poseen la mayor resistencia al calentamiento, pero requieren altas temperaturas (150-200° C) para su solidificación. Se usan para impregnar y rellenar las bobinas de las máquinas y aparatos eléctricos, que funcionan prolongadamente a temperaturas de 180 y 220° C.

Los compuestos de poliuretano se diferencian por la más elevada resistencia al congelamiento (—80° C), pero pertenecen a la clase E (120° C) por su resistencia al calentamiento.

En las tablas 11 y 12 se muestran las características principales de los compuestos electroaislantes de mayor utilidad.

§ *13. Materiales electroaislantes fibrosos no impregnados*

A este grupo pertenecen los materiales fibrosos de procedencia orgánica e inorgánica, en hojas y rollos. Los materiales de procedencia orgánica (papeles, cartones, fibras y tejidos) se elaboran de fibras vegetales de madera, algodón y seda natural. La humedad normal de los cartones, papeles y fibras electroaislantes oscila entre un 6 y 10%. Los materiales fibrosos orgánicos basados en fibras sintéticas (caprón) contienen de 3 a 5% de humedad. Aproximadamente la misma humedad se puede observar en los materiales elaborados con base de fibras orgánicas (amianto, fibra vítrea). Las particularidades específicas de los materiales fibrosos inorgánicos consisten en que éstos son ininflamables y poseen alta resistencia al calentamiento (clase C). Al impregnar estos materiales con barnices, las valiosas cualidades arriba mencionadas descienden en la mayoría de los casos.

Los papeles electroaislantes se fabrican principalmente de celulosa de madera. De máxima porosidad es el papel de cintas para mica, que se utiliza en la producción de las mismas.

El cartón eléctrico se elabora también de celulosa de madera o de una mezcla de fibras de algodón y de celulosa de madera (sulfática), tomándolas en distintas proporciones. Al aumentar el contenido de fibras de algodón disminuye la higroscopicidad y retracción de los cartones.

Los cartones eléctricos destinados a funcionar en un ambiente aéreo tienen la estructura relativamente de mayor consistencia, que los destinados a funcionar en aceite. Los cartones con gruesos de 0,1 a 0,8 mm se confeccionan en rollos, y los de 1 mm y superiores, en hojas de variadas dimensiones.

Los papeles y cartones electroaislantes a temperatura del ambiente con una humedad relativa de 65% tienen una resistividad volumétrica $\rho_v = 10^{13} \div 10^{14}$ ohm·cm. Para los papeles semiconductores de cables ésta es considerablemente menor: $\rho_v = 10^5 \div 10^8$ ohm·cm.

La fibra es un material monolítico, se fabrica prensando hojas de papel, previamente tratadas con una solución calentada de cloruro de zinc y lavadas en agua. La fibra tolera todo tipo de trabajos mecánicos (torneado, fresado, taladrado, roscado; se estampa con gruesos hasta de 6 mm). La fibra en hojas puede ser moldeada después de reblandecida en agua caliente. La resistividad volumétrica de la fibra FT (ФТ) es igual a $10^7 \div 10^8$ ohm·cm, y de $10^9 \div 10^{10}$ ohm·cm la de la fibra FE (ФЭ), a 20° C y con una humedad relativa de 65%.

El leteroid es una fibra fina (de 0,1 a 0,5 mm) en hojas y rollos, se utiliza en la fabricación de variados tipos de juntas, arandelas y piezas perfiladas. La resistividad volumétrica de las hojas de fibra y leteroid es igual a 10^8—10^{10} ohm·cm, la humedad es igual a un 8—10%. El promedio del límite de resistencia a la flexión estática de la fibra es igual a 100 kgf/cm^2.

Los papeles, cartones y cintas de amianto se fabrican de fibras de asbesto crisotílico ($3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), poseedor de mayor elasticidad y de máximas facultades, que permiten su retorción en hilos. La resistencia al calentamiento de las fibras de amianto crisolítico es de 550-600° C; se funden a los 1500° C. Estas fibras no tienen capilares internos, por tanto su higroscopicidad es inferior a la que poseen las fibras orgánicas.

A causa de que el asbesto contiene cerca de un 3—4% de óxidos ferrosos (FeO, Fe_2O_3, etc.) y contiene también agua de adsorción (0,95%), las características eléctricas de los materiales de asbesto no son relativamente altas ($\rho_v = 10^8 \div 10^9$ ohm·cm).

El amianto ferruginoso, conteniendo hasta un 8% de óxidos ferrosos, posee una resistividad volumétrica $\rho_v = 10^5 \div 10^6$ ohm·cm.

De hilos de amianto ferruginoso se fabrican cintas semiconductoras; éstas se utilizan para nivelar el campo eléctrico en la superficie de las bobinas de las máquinas eléctricas de alta tensión.

De hilos de amianto crisotílico se obtienen cintas electroaislantes termorresistentes. Para garantizar alta resistencia a la tracción (140—145 kgf/cm^2) a estos hilos se le introducen fibras de algodón.

De fibras de amianto crisotílico se fabrican papeles de amianto con gruesos de 0,2 a 1,0 mm.

El cartón de amianto se elabora de estas mismas fibras. Para aislamientos eléctricos este material tiene aplicación principalmente en forma impregnada, con barnices o resinas. El cartón de amianto se confecciona de 2 a 10 mm de grueso.

Todos los materiales de amianto son resistentes a los álcalis, pero fácilmente se destruyen bajo la acción de ácidos.

Las telas y cintas electroaislantes de vidrio se fabrican de fibras vítreas, y para obtener éstas se hace uso del vidrio no alcalino (contenido de álcalis no mayor del 2%) o de poca alcalinidad (contenido de álcalis no mayor del 6%). El diámetro de los hilos vítreos (de fibra continua o cortada) oscila en un margen de 3 a 9 micras.

Material	Tipo	Espesor, micras	Densidad, g/cm³	Esfuerzo de rotura (no menos), kgf
Papel de condensador	KON-1	7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 15; 22; 30; 4	1,0 1,17	Longitud* de rotura: 8000 m 8500 m
	KON-2	5; 6; 7; 8; 10; 12; 15; 22; 30	1,17-1,25	8000—8500 m
	Silkon 0,8	12 y 15	0,8	8000 m
	Silkon 1	7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 15; 22; 30; 4	1,0 1,17	8000 m 8500 m
	Silkon 2	5; 6; 7; 8; 10; 12; 15; 22; 30	1,17-1,25	8000—8500 m
Papel de cable***	K-080	80	0,76	8,5/4****
	K-120	120		13/6
	K-170	170		17; 5/8,5
	KM-120	120	0,76	14,5/6,5****
	KM-170	170		19,0/9,5
	KV-030	30	0,85	1,5/3,4****
	KV-045	45		2,3/5,3
	KV-080	80		4,2/9,0
	KV-120	120		6,5/14,0
	KV-170	170		9,0/18,5
	KV-240	240		10/22
	KVU-015	15	1,09	0,9/2,1****
	KVU-020	20	1,09	1,2/2,8
	KVU-030	30	1,10	2,0/4,5
	KVU-045	45	1,10	3,0/6,8
	KVU-080	80	1,10	5,3/12,0
	KVU-120	120	1,10	8,5/17,5
	KVM-080	80	0,76	4,0/8,5****
	KVM-120	120		6,5/14,5
	KVM-170	170		8,5/19,0
	KVM-240	240		10,5/23,0

Tabla 13

de los materiales electroaislantes fibrosos

Permeabilidad al aire, ml/min	Características eléctricas a 20° C		Característica general y campo de aplicación
	tg δ a 50 Hz	U_r, V	
3-5	0,0014-0,0016	300-590	Se despacha elaborado en bobinas de 12 a 750 mm de ancho.
50	0,0016-0,0018	240	Se utiliza en los condensadores de papel
2-30**	0,0016-0,0018	260-620	Lo mismo, pero con mayor densidad
7	0,0009	390-420	Con características eléctricas mejoradas. Se utiliza en los condensadores de papel
3-50	0,0010-0,0012	320-620	
50	0,0014-0,0015	270-280	
2-30**	0,0014-0,0015	300-680	Lo mismo, pero con mayor densidad
25	Sin normalizar	Sin normalizar	De cable corriente. Se usa para aislar los hilos de los cables con voltajes hasta 35 kV
25	Lo mismo	—	De cables en cuatro capas. Las mismas aplicaciones que el papel tipo K
15 25 25 20 20 25	0,0250	Sin normalizar	De cable y alto voltaje. Se utiliza para aislar los hilos de los cables con voltajes de 35 kV y superiores
5 5 5 5 10 10	0,0270	Sin normalizar	De cable y alto voltaje, compacta. Campo de aplicación idéntico al del papel KV
25 25 20 10	0,0023	—	De cable, alto voltaje y capas múltiples. Se usa para aislar los hilos de los cables con voltajes de 110 kV y superiores

Material	Tipo	Espesor, micras	Densidad, g/cm³	Esfuerzo de rotura (no menos), kgf
	KVMU-080 KVMU-120	80 120	1,10	5,5/13,0**** 8,5/18,0
Papel de cable semiconductor	KP-045 KP-080 KP-120	45 80 120	0,85	2,0/4,5****
	KPD-080 KPD-120	80 120	0,85	4,0/8,5**** 5,5/12,0
Papel telefónico	KT-04 KT-05	40 50	0,80 0,80	1,5/4,5**** 2,0/6,0
Papel encrespado	EKT	500	0,23	3,0-3,2 (en dirección longitudinal)
Cartón electroaislante (para funcionar en ambiente aéreo)	EVS	0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40 mm	1,25	3,5-12 kgf/mm²
	EVP	0,10; 0,15; 0,20; 0 25; 0,30 mm	1,25	3,5-12 kgf/mm²
	EVT	0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,50 mm	1,15	3,25-12 kgf/mm²
	EV	Las mismas dimensiones más 0,6; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0; 2,5; 3,0 mm	0,95-1,15	3,25-9,0 kgf/mm²
Cartón electroaislante para aparatos de aceite******	A	2,0; 2,5; 3,0	0,90-1,00	No menos de******* 4,0 kgf/mm²
	B	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0	1,00-1,15	5,0 kgf/mm²
	V	2,0; 2,5; 3,0	1,15-1,25	6,0 kgf/mm²
	G	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	1,00-1,20	4,0 kgf/mm²

Continuación de la tabla 13

Permeabilidad al aire, ml/min	Características eléctricas a 20° C		Característica general y campo de aplicación
	tg δ a 50 Hz	U_r, V	
6 6	0,0024	—	Lo mismo, pero compacta. Campo de aplicación idéntico al del papel KVU
25 25 25	—	—	Papel semiconductor, contiene hollín. Se utiliza para apantallar los hilos de los cables
25 25	—	—	Lo mismo, pero el hollín se adiciona a una capa de papel. Se usa idénticamente al papel KP
—	—	—	Se usa para aislar los hilos de los cables telefónicos. Se elabora en rollos con 500 mm de ancho
—	—	15 kV/mm******	Se utiliza para aislar distintos bloques de los aparatos de aceite. El ancho de los rollos es de 12, 15, 20, 25, 30, y 40 mm
—	—	11-12 kV/mm*****	El papel calandrado se elabora en hojas y rollos (EV; EVS) o solamente en rollos (EVP, EVT). Se usa en ambiente aéreo con impregnación obligatoria en barnices (armazones de bobinas, juntas, etc.)
—	—	11-12 kV/mm*****	
—	—	12-13 kV/mm*****	
—	—	8-11 kV/mm*****	
—	—	40-50	Cartón elástico flexible, se utiliza en los aparatos con voltajes hasta, e incluyendo, 750 kV
—	—	31-85	Lo mismo, pero se usa en los aparatos con voltajes hasta 220 kV
—	—	55-70	Cartón duro de baja compresibilidad. Se usa en el aislamiento longitudinal de los transformadores, etc. Posee elevada resistencia a la separación de las capas
—	—	19-57	

Material	Tipo	Espesor, micras	Densidad, g/cm³	Esfuerzo de rotura (no menos), kgf
Fibra en hojas	FT	De 0,4 a 1,5 (a cada 0,1 mm) 1,7; 2,0; 2,2; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5	1,10-1,20	Longitudinal 5-7 kgf/mm²*******
		De 5 a 20 (a cada 1 mm) 20; 22; 25		Transversal 4,8-5,5 kgf/mm²
	FE	De 0,6 a 1,7 (a cada 0,4 mm) 2,0; 2,2; 2,5; 3,0		Longitudinal******* 7-8 kgf/mm²

* Para papeles de condensador se exhiben valores mínimos de rotura (m), es la acción del peso propio del papel.

** Los valores mayores de permeabilidad al aire corresponden a papeles de con

*** Los papeles de condensador de todos los tipos se elaboran en rollos con los 500, 600 y 750 mm para papeles de 80 a 240 micras de espesor (0,080-0,240 mm).

**** Los valores inferiores (nominador) de fuerzas de rotura para papeles de cable valores superiores (denominador) corresponden a muestras recortadas longitudinalmente.

***** Representan valores de rigidez dieléctrica (E_r).

****** Los cartones de tipos A, B, V se elaboran en forma de hojas de las siguientes 850×950 mm hasta 1800×3800 mm. Para los cartones de tipos A, B, V y G se exhiben

******* Para cartones y fibras vienen representados los valores de límite de resistencia a la tracción

La superioridad de las fibras vítreas ante las orgánicas y de amianto consiste en que tienen una superficie lisa, disminuyendo ésta la cantidad de agua absorbida del aire. La higroscopicidad de las telas y cintas vítreas se encuentra en los límites del 2 al 4%.

La resistencia al calentamiento de las telas y cintas vítreas es superior a la resistencia de telas de amianto.

En la tabla 13 se muestran las características de los papeles, fibras y cintas electroaislantes ampliamente utilizables en la construcción de máquinas y aparatos eléctricos.

§ 14. *Telas barnizadas electroaislantes*

Estas telas son materiales flexibles formados por telas impregnadas con barnices o con cualquier compuesto electroaislante. Los barnices o compuestos impregnantes, después de endurecerse, crean una película flexible, garantizando a las telas buenas propiedades electroaislantes. De acuerdo con la base textil las telas barnizadas se diferencian en telas de algodón, de seda, de caprón y vítreas. En calidad de sustancias impregnantes para estas telas se utilizan

Continuación de la tabla 13

Permeabilidad al aire, ml/min	Características eléctricas a 20° C		Característica general y campo de aplicación
	tg δ a 50 Hz	U_r, V	
—	—	2 ÷ 4 kV/mm	Fibra técnica, contiene 0,2% de cloruro de zinc. Se utiliza en la construcción de piezas para las máquinas y aparatos eléctricos
—		3,5 ÷ 7,5 kV/mm	Fibra electroaislante, se usa en la fabricación de cuñas para ranuras de las máquinas de bajo voltaje

decir, el largo del papel con determinado espesor al surgir la rotura, sucediendo ésta por

densador de menor espesor (4-5 micras).
anchos siguientes: 350 mm para papeles de 15 a 45 micras de espesor (0,015 ÷ 0,045 mm);

corresponden a muestras recortadas en dirección transversal de la cinta de papel, y los

dimensiones: desde 1000×1000 mm hasta 3000×4000 mm. El cartón de tipo G, desde
los voltajes de ensayo aplicados a las muestras durante 1 min. Los valores superiores
corresponden a muestras de mayor espesor.

barnices de aceite, oleobituminosos, de escapón[1] y silicoorgánicos; también se usan esmaltes silicoorgánicos (barnices pigmentados), soluciones de cauchos silicoorgánicos y otras sustancias impregnantes. Las telas barnizadas de seda y caprón poseen máxima expansibilidad y elasticidad. Al calentarlas pueden funcionar a temperaturas no mayores de 105° C (clase A). A esta misma clase de resistencia al calentamiento pertenecen todas las telas barnizadas de algodón. Los tejidos de vidrio ayudan a elevar la resistencia al calentamiento y la estabilidad a la humedad. Las telas vítreas barnizadas con betunes oleosos, tipo LSB (ЛСБ), o con escapón, tipo LSE (ЛСЭ), pueden funcionar a temperaturas hasta de 130° C; y si han sido barnizadas con sustancias silicoorgánicas entonces pueden funcionar prolongadamente a temperaturas de 180° C. Estas últimas se destacan también por su elevada estabilidad a la humedad.

Las telas barnizadas tienen los siguientes principales campos de aplicación: máquinas, aparatos e instrumentos eléctricos de bajo voltaje. Estas telas se usan como aislamiento flexible entre espiras y en el ranurado, también se utilizan en calidad de separadores

[1]) Escapón es el nombre comercial de un derivado del caucho sintético. (N. del T.)

electroaislantes muy variados. En los transformadores de aceite se usan telas barnizadas oleorresistentes, tipo LJSM (JIXCM) y LSMM (JICMM). Para aislar las partes frontales de los devanados y demás elementos conductores con forma irregular se utilizan cintas de tela barnizada, cortadas éstas en ángulo de 45° en relación con la urdidumbre. Las características fundamentales de las telas barnizadas se muestran en las tablas 14 y 15.

Las características, no incluidas en las tablas y que son generales para muchas de las telas barnizadas, tienen los valores, que a continuación mencionamos.

El factor de conductividad térmica oscila entre los límites siguientes:

0,0012—0,0025 W/cm·por grado para las telas barnizadas de algodón y de seda;

0,0020—0,0026 W/cm·por grado para las telas barnizadas vítreas.

Los valores de tg δ oscilan entre los límites:

0,06—0,105 para las telas barnizadas de algodón;

0,03—0,08 para las telas barnizadas de seda;

0,02—0,06 para las telas vítreas barnizadas con aceites, betunes oleosos y escapón;

0,005—0,012 para las telas vítreas barnizadas con sustancias silicoorgánicas.

La densidad de las telas barnizadas se encuentra entre los límites siguientes:

0,9—1,0 g/cm^3 para las telas de seda;

1,0—1,2 g/cm^3 para las telas de algodón;

1,25—1,35 g/cm^3 para las telas vítreas.

Las telas barnizadas se confeccionan en rollos con anchos de:

700—1000 mm para las telas de seda y algodón;

680—1015 mm para las telas vítreas.

La longitud de las telas barnizadas en los rollos es de 40 a 100 m. Las zonas de tolerancias de acuerdo con el espesor son las siguientes: ±0,01 mm para los gruesos de 0,04 a 0,10 mm y ±0,02 mm para los gruesos de 0,15 a 0,30 mm. La cinta vítrea pegajosa electroaislante se confecciona en forma de rollos de 150 a 175 mm de diámetro y de 10, 15, 20, 25 y 30 mm de ancho. Este material se aplica para aislar los cables devanados, que prolongadamente funcionan a temperaturas elevadas hasta 180° C.

§ *15. Masas plásticas*

Las masas plásticas son materiales sólidos, los que en cierta etapa de su elaboración adquieren plasticidad y en este estado mediante diferentes métodos (por prensado o fundiendo) se pueden elaborar artículos de formas predeterminadas.

Estas masas plásticas están constituidas por un conjunto de materiales: sustancia conglutinosa (sustancia de alta polimería), rellenos,

Tabla 14

Características físico-químicas de las telas electroaislantes barnizadas

Clasificación por la base	Tipo de tela barnizada	Composición impregnante utilizada	Color de la tela barnizada	Espesor nominal, mm	Límite de resistencia a la tracción, kgf/mm²		
					por la urdimbre	por la trama	diagonalmente
De algodón	LJM-105	Barniz de aceite	Amarillo claro	0,15; 0,17; 0,20; 0,24; 0,30	2,4-3,2	1,6-2,2	1,5-1,8
	LJMS-105	Lo mismo	Lo mismo	0,17; 0,20			
	LJMM-105	Lo mismo	Lo mismo	0,17; 0,20; 0,24			
	LJB-105	Barniz oleobituminoso	Negro	0,17; 0,20; 0,24			
De seda	LShM-105	Barniz de aceite	Amarillo claro	0,08; 0,10; 0,12; 0,15	1,6-2,0	1,2-1,5	1,2-1,5
	LShMS-105	Lo mismo	Lo mismo	0,04; 0,05; 0,06; 0,10; 0,12; 0,15			
De caprón	LKM-105	Lo mismo	Lo mismo	0,10; 0,12; 0,15	1,6-2,2	1,2-1,6	1,2-1,5
	LKMS-105	Lo mismo	Lo mismo	0,10; 0,12; 0,15			
Vítreas	LSB-120/130 (LSTCh)*	Barniz oleobituminoso gliptálico	Negro	0,11; 0,13; 0,15; 0,17; 0,20; 0,24	4-6	6	22
	LSK-155/180 (LSK-7)*	Barniz silicoorgánico	Amarillo claro	0,11; 0,15; 0,20	4-6	—	—
	LSKL-155 (pegajosa)	Lo mismo	Blanco	0,12; 0,15	4-6	—	—
	LSE-105/130	Barniz de escapón	Marrón	0,13; 0,15; 0,17; 0,20; 0,24	4-6	—	—
	LSMM-105/120	Barniz de aceite	Amarillo	0,17; 0,20; 0,24	4-6	—	—
	LSM-105/120	Lo mismo	Amarillo claro	0,15; 0,17; 0,20; 0,24	4-6	—	—
	LSKR-180 (RSLK-1)*	Solución de caucho SKT	Blanco	0,11; 0,13; 0,15; 0,20	4-6	—	—
	LSL-105/120	Solución de látex	Lo mismo	0,15; 0,17; 0,20; 0,24	2,4-3,0	1,6-2,0	1,5-1,8
	LSK-5	Esmalte semiconductor	Gris	0,12; 0,15; 0,20	4-6	—	—

* Entre paréntesis se exhiben los tipos anteriores de las telas barnizadas.

Tabla 15

Características eléctricas fundamentales de las telas barnizadas

Clasificación	Tipo de la tela barnizada	Resistividad ρ_v, ohm · cm		Rigidez dieléctrica E_r, kV/mm			Propiedades típicas
		a 20° C	a las 24 h de permanecer en ambiente húmedo	antes de plegar a 20° C	después de plegar a 20° C	a las 24 h de permanecer en ambiente húmedo	
De algodón	LJM-105	10^{13}-10^{11}	10^{9}-10^{10}	17-30	10-20	7-12	De algodón y características normales
	LJMS-105	10^{13}-10^{14}	10^{9}-10^{10}	18-32	12-22	8-14	Lo mismo, pero de características mejoradas
	LJMM-105	10^{13}-10^{14}	10^{9}-10^{10}	18-35	13-21	6-14	Lo mismo, y además óleorresistente
	LJB-105	10^{13}-10^{14}	10^{10}-10^{11}	15-34	11-24	8-12	Lo mismo y además resistente a la humedad
De seda	LShM-105	10^{13}-10^{14}	10^{9}-10^{10}	18-44	17-37	11-19	De seda con barniz de aceite y características eléctricas mejoradas
	LSbMS-105	10^{13}-10^{14}	10^{9}-10^{10}	18-51	20-42	13-24	Lo mismo, pero de pequeños espesores
De caprón	LKM-105	10^{13}-10^{11}	10^{9}-10^{10}	20-40	17-37	11-19	Tela de caprón con barniz de aceite, de elevada elasticidad, pero de mayor retracción al calentar
	LKMS-105	10^{13}-10^{14}	10^{9}-10^{10}	27-52	20-42	13-24	Lo mismo, pero de pequeños espesores
Vítreas	LSB-120/130	10^{14}-10^{15}	10^{12}-10^{13}	19-40	17-32	10-15	Tela vítrea con barniz óleobituminosoalquídico, resistente a la humedad
	LSK-155/180	10^{14}-10^{15}	10^{13}-10^{14}	28-41	9-20	9-20	Tela vítrea con barniz silicoorgánico, resistente al calor
	LSKL-155	10^{11}-10^{12}	10^{9}-10^{10}	5-6	—	—	Tela vítrea impregnada en compuesto silicoorgánico, pegajosa
	LSE-105/130	10^{14}-10^{15}	10^{11}-10^{12}	15-33	11,5-28	4-13	Tela vítrea con barniz de escapón
	LSMM-105/120	10^{13}-10^{14}	10^{11}-10^{12}	18-36	13-22	6-15	Tela vítrea con barniz de aceite, óleoresistente
	LSM-105/120	10^{13}	10^{11}	12,5-30	13-21	7-15	Lo mismo, pero no óleorresistente
	LSKR-180	10^{14}-10^{15}	10^{12}-10^{13}	11-25	11-25	5,5-13	Tela vítrea con soluciones de caucho silicoorgánico, resistente al calor
	LSL-105/120	10^{14}	10^{10}-10^{11}	10-19	—	—	Tela vítrea con látex
	LSK-5	10^{3}-10^{5}	—	—	—	—	Tela vítrea barnizada semiconductora, de reducida resistividad. Se usa para nivelar el campo eléctrico en las máquinas y aparatos eléctricos

pigmentos, plastificantes, etc. Determinados tipos de masas plásticas, siendo sustancias de alta polimería, pueden no tener relleno. Los rellenos permiten aumentar la resistencia mecánica y al mismo tiempo disminuir la retracción volumétrica de las piezas fabricadas de masas plásticas. Los rellenos fibrosos (de amianto, de vidrio, de borra de algodón, etc.) aumentan considerablemente la resistencia mecánica de las masas plásticas. Los rellenos inorgánicos (mica, polvo de cuarzo, fibra vítrea, etc.) aumentan el coeficiente de conductividad térmica e incrementan la resistencia al calentamiento de estas masas plásticas. La cantidad de relleno en las masas varía en un margen del 40 al 70%. Los plastificantes se introducen en las masas plásticas para convertirlas en menos frágiles. El utilizado tipo de conglutinante, relleno y demás componentes de las masas plásticas determinan el grado de fluidez, absorción de humedad, velocidad de prensado, características mecánicas y eléctricas de las mismas.

Para elaborar piezas de masas plásticas se utilizan materiales en forma de polvos y otras formas aplicables para prensar. Entre los últimos podemos mencionar los conglutinantes con rellenos fibrosos de procedencia orgánica (telas, papel, fibras, etc.) e inorgánica (amianto, etc.).

Con relación al calentamiento las masas plásticas se diferencian en termofijas y termoplásticas. Las primeras en el proceso de aprensado en caliente o posterior recalentamiento se convierten en insolubles e infusibles.

Las masas termoplásticas después de aprensado en caliente durante los recalentamientos posteriores pueden nuevamente reblandecerse. Por el tipo de relleno se diferencian en masas plásticas con rellenos de polvo, fibras, chapas o de aire-gas, y también sin rellenos. La característica tecnológica fundamental de los polvos y materiales a prensar reside en las cualidades fluentes[1]) de éstos en los moldes-prensas. Para la mayoría de las masas plásticas con rellenos en forma de polvos la fluidez es igual a 90—190 mm, para las masas plásticas con rellenos fibrosos es inferior (40—110 mm). La densidad de las masas plásticas oscila entre los límites de 1,2 a 1,9 g/cm^3. De máxima resistencia mecánica son las masas plásticas con rellenos fibrosos (de vidrio, de algodón, etc.). Poseen superior resistencia al calentamiento y a las acciones de las descargas eléctricas aquellas masas plásticas que se basan en resinas silicoorgánicas y rellenos minerales (cuarzo molido, fibras vítreas, etc.). Estas masas se destacan también por su estabilidad al moho. En la tabla 16 se muestran las características fundamentales de las masas plásticas que mayor aplicación tienen en la electrotecnia.

[1]) Sobre la fluidez de las masas plásticas véanse «Materiales eléctricos» de N. G. Drozdov y N. V. Nikulin, editorial «Escuela superior», 1968.

Tipo o denominación	Límite de resistencia a la tracción, kgf/cm²	Límite de resistencia a la flexión estática, kgf/cm²	Resiliencia específica, $\frac{\text{kgf}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^2}$	Termorresistencia por Martens (no menos de), °C	Absorción de agua, %
K-15-2 K-17-2 K-18-2 K-19-2 K-20-2 K-118-2 K-119-2	300-400	600-700	5-6	125	0,2-0,3
FKP-1 FKPM-10 FKPM-15T	250-350	450-550	8-9	125	0,08-0,12
K-21-22 K-211-2 K-214-2 K-214-22 K-220-21	300-550	600-650	4,5-5,5	120-130	0,08-0,11
K-211-3 K-211-34 K-214-43 K-214-43T K-78-51	300-500	550-600	3,5-5,0	130-150	0,03-0,08
PK-9 SVK-2k	—	600-900 1000	60-80 120	300 300	0,01-0,02
KF-10	—	200-250	8-10	250	0,02
KMS-9	—	400-450	12-25	250	0,05
RTM-6 RTM-6M TP-110	300	400-500	10-25	250-300	0,01
MKF-20	—	400-450	7-9	190	0,01
K-114-35 V-4-70	400-450	850-950	5-6	125-140	0,08-0,15

de las masas plásticas electroaislantes

Características eléctricas a 20° C				Característica general y campo de aplicación
Resistividad volumétrica, ohm·cm	Permeabilidad dieléctrica a 50 Hz	Tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas a 50 Hz	Rigidez dieléctrica a 50 Hz, kV/mm	
10^{11}	5-6	0,08-0,15	11-12	Materiales basados en resinas de novolaca con relleno de arina de madera. Se usan en la fabricación de piezas constructivas y electroaislantes para aparatos e instrumentos de bajo voltaje
10^{11}-10^{12}	7-8	0,05-0,09	10-13	Materiales basados en resinas de novolaca conjuntamente con cauchos y rellenos orgánicos y minerales. Se usan en aparatos e instrumentos eléctricos de bajo voltaje
10^{12}-10^{13}	6-8	0,06-0,08	13-15	Materiales basados en resinas resolíticas con arina de madera. Se usan en la fabricación de piezas electroaislantes para aparatos e instrumentos eléctricos de bajo voltaje
10^{12}-10^{14}	6-7	0,02-0,08	14-16	Materiales basados en resinas resolíticas (fenolanilínicas) con rellenos minerales. Se usan en la fabricación de piezas electroaislantes para aparatos e instrumentos eléctricos de bajo voltaje
10^{15} 10^{14}	4-5 4-5	0,03-0,05 0,008-0,009	5-6 6-7	Materiales basados en relleno silicoorgánico aglutinante y silícico fibroso. Se usan en la fabricación de piezas electroaislantes resistentes al calor, mecánicamente resistentes
10^{14}-10^{15}	5	0,005	13-14	Lo mismo, pero el material posee elevada fluidez durante el aprensado
10^{13}-10^{14}	5	0,01	4-6	Lo mismo, pero el material posee elevadas características mecánicas
10^{13}-10^{14}	4-5	0,01-0,02	3-5	Lo mismo, pero de reducida absorción de agua
10^{14}-10^{15}	4-5	0,02	3,5-5	Materiales basados en resinas silicoorgánicas y de melamina con relleno mineral. Se distinguen por su alta resistencia al arco eléctrico y al clima tropical
10^{13}-10^{14}	4-5	0,01-0,03	16-18	Materiales basados en resinas de novolaca, modificadas con poliamidas y rellenos minerales. Se usan en aparatos e instrumentos eléctricos

Tipo o denominación	Límite de resistencia		Resiliencia específica, $\frac{kgf \cdot cm}{cm^2}$	Termorresistencia por Martens (no menos de), °C	Absorción de agua, %
	a la tracción, kgf/cm^2	a la flexión estática, kgf/cm^2			
K-17-23 K-17-36 K-18-23 K-18-36 K-17-81 K-18-81	250-350	550-600	4,5-6,0	125-130	0,03-0,06
K-18-48	—	550-600	4,5-5,0	140-145	0,08-0,10
Voloknit	300-350	800-850	9-10	140	0,3-0,5
K-6 K-6U	200-250	700-800	20-22	200	0,5-0,8
K-15-56 K-18-56 K-119-56	300-320	450-500	3,5-4,0	140	0,5-0,8
Izodin	300-400	600-650	8-9	120-130	0,3
Voloknit vítreo	1000-1400	750-900	18-24	140-160	0,3-0,5
FAS	2300-2700	1700-2000	80-120	250	0,2
AG-4V AG-4S	800 5000	1200 2500	30-40 150-160	280 280	0,1-0,2 0,1-0,2
VEI-11	200-300	350-380	2-3,0	150	0,8

Continuación de la tabla 16

Características eléctricas a 20° C				Característica general y campo de aplicación
Resistividad volumétrica, ohm-cm	Permeabilidad dieléctrica a 50 Hz	Tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas a 50 Hz	Rigidez dieléctrica a 50 Hz, kV/mm	
10^{12}-10^{13}	5-6	0,03-0,06	13-14	Materiales basados en resinas de novolaca, modificadas con policloruro de vinilo y rellenos minerales. Se usan en aparatos e instrumentos eléctricos
10^{11}-10^{12}	6-7	0,05-0,09	15-16	Material basado en resina de novolaca con rellenos minerales y de madera, de elevada estabilidad térmica
10^{9}-10^{10}	6-7	0,08-0,2	4-5	Material basado en resina resolítica, usándose fibras de algodón en calidad de relleno. Elevada resistencia a la flexión estática y dinámica
10^{10}-10^{11}	7-8	0,08-0,3	1,5-2,0	Lo mismo, pero con fibras de amianto. Se usa para piezas resistentes al impacto y termoestables de las máquinas y aparatos eléctricos de bajo voltaje
10^{10}-10^{11}	7-8	—	8-9	Material basado en resina de novolaca con relleno de madera y amianto micronizado. Las masas plásticas poseen elevada fluidez
10^{9}-10^{10}	6-7	0,3-0,5	7-8	Material basado en resina resolítica y papel disminuzado. Barato. Se aplica para las piezas electroaislantes de bajo voltaje
10^{10}-10^{11}	7-8	0,06-0,09	4-5	Material basado en resina resolítica y fibras vítreas. Se usa en la fabricación de piezas electroaislantes de elevada resistencia mecánica
10^{12}-10^{13}	6-8	0,01-0,02	10-17	Lo mismo, pero el material posee mejoradas características eléctricas y mecánicas
10^{12}-10^{13}	8	0,05	13-14	Materiales basados en resina resolítica modificada; en calidad de relleno se usan: fibra vítrea enredada (AG-4S) o cintas vítreas (AG-4V). Los materiales poseen elevada resistencia al calentamiento, al ambiente tropical y posaen baja retracción volumétrica
10^{12}-10^{13}	8	0,05	13-15	
10^{10}-10^{11}	—	0,1-0,2	3-4,5	Masa plástica resistente al arco eléctrico basada en resina de melamina-ureaformaldehído con rellenos de amianto. La masa plástica VEI-11 permite el aprensado en frío

Tipo o denominación	Límite de resistencia		Resiliencia específica, $\frac{kgf \cdot cm}{cm^2}$	Termorresistencia por Martens (no menos de), °C	Absorción de agua, %
	a la tracción, kgf/cm^2	a la flexión estática, kgf/cm^2			
VEI-12	400-600	450-550	10-12	160	0,5
Asbodín	350-400	600-800	10-13	200-270	0,5-0,7
Electroin	140-180	—	—	—	3-5
KMK-18	—	350	4,5	250	0,05

§ *16. Masas plásticas electroaislantes estratificadas*

Las masas plásticas estratificadas son materiales constituidos por capas de rellenos en forma de hojas (papel o tela) alternándose éstas con las capas del conglutinante.

Las más importantes masas plásticas aislantes estratificadas son: el hetinax, la textolita y la vitrotextolita. En ellos se utilizan, estratificando, rellenos de hojas de papel, tela y otros materiales, y como sustancia conglutinante se aplican resinas silicoorgánicas, de baquelita, epoxídicas, o sus composiciones. Con el fin de incrementar la resistencia al calentamiento a algunas resinas de baquelita se le introducen sustancias silicoorgánicas, y para aumentar las cualidades ligamentosas a las resinas silicoorgánicas y de baquelita se adicionan resinas epoxídicas.

En el hetinax como relleno se utilizan tipos especiales de papel impregnante, en la textolita telas de algodón y en la vitrotextolita telas de vidrio no alcalino. Estos rellenos fibrosos en forma de hojas primeramente se impregnan con barnices silicoorgánicos o de baquelita, los secan y cortan en láminas con dimensiones determinadas. Las láminas impregnadas, en calidad de relleno, se agrupan en paquetes de espesor definido, se aprensan en caliente en prensas hidráulicas múltiples. Durante el aprensado, con ayuda de resinas, las distintas capas del relleno laminar se ligan entre sí, y las resinas al mismo tiempo se transforman a un estado insoluble e infusible.

Continuación de la tabla 17

Características eléctricas a 20° C				Característica general y campo de aplicación
Resistividad volumétrica, ohm·cm	Permeabilidad dieléctrica a 50 Hz	Tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas a 50 Hz	Rigidez dieléctrica a 50 Hz, kV/mm	
10^{11}-10^{12}	—	0,06-0,12	4,5-5	Masa plástica basada en resina de melamina-ureaformaldehido con relleno de amianto, resistente al arco eléctrico
10^{12}-10^{13}	—	0,1-0,2	5-6	Material basado en caucho sintético, sanguina y amianto, resistente al arco eléctrico
10^{9}-10^{11}	—	—	7-8	Material basado en caucho sintético y fibras de amianto, flexible, en hojas. Se usa como aislamiento de ranuras y debajo de zunchos en las máquinas eléctricas de bajo voltaje
10^{12}-10^{13}	6	0,04	6-7	Material basado en resina silicoorgánica y fibra vítrea. Se usa en la fabricación de piezas electroaislantes hidrófugas y estables al arco eléctrico

Los materiales estratificados electroaislantes se confeccionan en forma de hojas y planchas de variados espesores y diferentes aplicaciones.

El hetinax y la textolita basadas en resinas de baquelita se distinguen por su estabilidad a los aceites, por tanto se aplican ampliamente en los aparatos y transformadores eléctricos en aceite. Todos los materiales estratificados electroaislantes, a base de resinas de baquelita, poseen baja resistencia a las acciones de las descargas eléctricas, es decir, que bajo la acción de las chispas eléctricas en la superficie de estos materiales se crean pistas conductoras de la corriente eléctrica.

Por su resistencia al calentamiento el hetinax y la textolita pertenecen a la clase A y pueden utilizarse a temperaturas inferiores a 105° C.

Las vitrotextolitas basadas en resinas de baquelita por su resistencia al calentamiento pertenecen a la clase B (130° C), las basadas en conglutinantes epoxídico-fenólicos pertenecen a la clase F (155° C), y las vitrotextolitas a base de conglutinantes silicoorgánicos pertenecen a la clase H y C (180 y 200° C).

El material estratificado más barato es la masa plástica estratificada de madera (madera-delta). Se obtiene mediante el aprensado en caliente de hojas finas (0,4—0,8 mm) de enchapados de abedul, previamente impregnados con resinas de baquelita.

Las características eléctricas de las marcas electroaislantes de madera-delta son idénticas a las de algunos tipos de hetinax, pero

Tabla 17

Masas plásticas electroaislantes estratificadas. Dimensiones de las hojas y campo de aplicación

Material	Tipo	Espesor de las hojas, mm	Dimensiones de las hojas, mm	Característica general y campo de aplicación
Hetinax	I (V, Vs)	0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,50; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; 3,3; 3,5; 3,8; 4,0; 4,3; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,3; 6,5; 7,0; 7,3; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0; 10,5; 11,0; 11,5; 12,0; 12,5; 13,0; 13,5; 14,0; 14,5; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47; 48; 49; 50	550 × 700 650 × 930 700 × 930 930 × 1030 980 × 1430 y otras	De tolerancias reducidas en espesor. El valor deformante (de alabeo) se normaliza. Está destinado para funcionar al aire en condiciones normales climatológicas (humedad relativa 65±15%, a temperatura de 20±5° C) o en aceite para transformadores con voltajes hasta 1000 V y frecuencia de 50 Hz en intervalo de temperaturas desde −65° C hasta +105° C
	II (D)	0,4; 0,5; 0,6; 0,7; las demás medidas son iguales a las que tiene el hetinax tipo I	Las mismas dimensiones	Lo mismo, pero de mayores tolerancias en espesor. El valor deformante no se normaliza. Campo de aplicación es idéntico al del hetinax tipo I
	III (G)	5,0; 5,5; 6,0; 6,3; 6,5; las demás medidas son iguales a las que tiene el hetinax tipo I	Las mismas dimensiones	De tolerancias reducidas en espesor. El valor deformante se normaliza igualmente que en el hetinax tipo I. Se aplica en ambiente de alta humedad (humedad relativa hasta 95% y a temperaturas de 20±5° C) con voltajes hasta 1000 V y frecuencias de 50 Hz
	IV (TR)	2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; las demás medidas son iguales a las que tiene el hetinax tipo I	Las mismas dimensiones	Lo mismo. Está destinado para el empleo al aire en condiciones tropicales (humedad relativa hasta 95% y a temperaturas de 35° C) o en aceites para transformador, con voltajes hasta 1000 V y frecuencia de 50 Hz
	V-1 V-2 (A; B; GEF-A; ET)	5,0; 5,5; 6,0; 6,3; 6,5; 7,0; las demás medidas son iguales a las que tiene el hetinax tipo I	Las mismas dimensiones	De tolerancias reducidas en espesor. El valor deformante se limita igualmente que en el hetinax tipo I. Está destinado para funcionar al aire bajo condiciones normales climatológicas o en aceites de transformador para dispositivos con voltajes superiores de 1000 V a frecuencia de 50 Hz.

	VI (Bv)	0,4; 0,5; 0;6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; 3,3; 3,5; 3,8	Las mismas dimensiones	Lo mismo. Está destinado para el empleo en condiciones normales climatológicas con frecuencias hasta 10^6 Hz y voltajes hasta 1000 V
	VII (AV; Vv; Dv; Gv)	Se fabrica de espesores iguales a los del hetinax tipo VI	Las mismas dimensiones	Lo mismo, pero con características eléctricas elevadas y de inferior resistencia a calentamientos cortos. Campo de aplicación idéntico al del hetinax tipo VI
	VIII (Ev; Eg)	1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1 5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; 3,3; 3,5; 3,8	Las mismas dimensiones	Lo mismo. Está destinado para funcionar al aire en condiciones normales climatológicas con frecuencias hasta 10^6 Hz y voltajo hasta 1000 V, y también como base para circuitos impresos, fabricados por el método de sedimentación electroquímica del cobre
Hetinax de amianto	A-1 A-2	2,0; 2,5; 5,0; 10,0; hasta 20; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5; 1.6; 1,8; 2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 8,0; 9,0; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30	No menos de 800×1350 Ancho de las hojas de 450 a 980 Largo de las hojas de 600 a 1480	Masa plástica estratificada basada en resina de baquelita y papel de amianto. Está destinado para el empleo al aire en condiciones normales climatológicas y en las de elevada humedad; para máquinas eléctricas con voltajes hasta 1000 V y frecuencia de 50 Hz
Madera delta	DSP-V-E	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,5; 6; 7; 8; 9; 10; 12; 15 ÷ 60 (a cada 5 mm)	Ancho: 800; 900; 1000; 1200 Largo: 700; 1100; 1500; 4800; 5600	Material estratificado de madera, de hojas de enchapado de abedul pegadas con resina resolítica en el curso del tratamiento térmico bajo alta presión. Campo de aplicación; aparatos eléctricos en aceite de bajo y alto voltajes. Para el empleo al aire exige protección contra la humedad mediante barnices y esmaltes
	DSP-B-E	Desde 15 a 60 (a cada 5 mm)	Las mismas dimensiones	Lo mismo, pero en situación distinta de las capas del enchapado, garantizando elevada resistencia mecánica. Campo de aplicación idéntico al DSP-V-E
Textolita	A	0,5; 0,6; 0;7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2;5; 2,8; 3,0; 3,5; 3,8; 4,0; 4,3; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0; 10,5; 11,0; 11,5; 12,0; 12,5; 13,0; 13,5; 14,0; 14,5; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 33; 35; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50	Dimensiones de las hojas no menor que 450×600	De reducidas tolerancias en espesor y elevadas características eléctricas. Está destinada para el empleo al aire en condiciones climatológicas normales y en aceite para transformadores, en intervalo de temperaturas de -65 a $+105°$ C con frecuencia de 50 Hz. El valor deformante se limita

Continuación de la tabla 17

Material	Tipo	Espesor de las hojas, mm	Dimensiones de las hojas, mm	Característica general y campo de aplicación
	B	Las mismas dimensiones	Las mismas dimensiones	De reducidas tolerancias en espesor y características mecánicas mejoradas. El valor deformante (de alabeo) se normaliza. Está destinada para el empleo al aire en condiciones climatológicas normales y en aceite para transformador, en intervalo de temperaturas de —65 a +105° C con frecuencia de 50 Hz
	G	Las mismas dimensiones	Las mismas dimensiones	Las propiedades y el campo de aplicación son idénticos a la textolita tipo A, pero con márgenes ampliados de tolerancias en espesor y alabeo
	VCh	0,5; 0,6; 0,7; 0;8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2.2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,5; 3,8; 4,0; 4,3; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0	Las mismas dimensiones	De reducidas tolerancias en espesor y mejoradas características eléctricas. El valor deformante (de alabeo) se normaliza. Está destinado para el empleo al aire en condiciones normales climatológicas con frecuencia de 10^6 Hz en intervalo de temperaturas de —65 a 105° C
Textolita vítrea	St	1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0-16 (a cada 1 mm); 18; 20; 22; 25; 28; 30	Desde 450 × 600 hasta 980 × 1480	De reducidas tolerancias en espesor. El valor deformante (de alabeo) se normaliza. Está destinado para el empleo al aire en condiciones climatológicas normales con voltajes hasta 1000 V y frecuencia de 50 Hz, en intervalo de temperaturas de —60 a 130° C
Textolita vítrea	ST-B	Las mismas dimensiones	Las mismas dimensiones	De grandes tolerancias en espesor. El valor deformante (de alabeo) no se normaliza. Campo de aplicación es idéntico al de la textolita vítrea tipo ST

ST-I	0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; (las demás dimensiones son iguales a la textolita vítrea tipo ST)	Las mismas dimensiones	De reducidas tolerancias en espesor y pequeño valor deformante (de alabeo), con estructura interior y superficial de mayor homogeneidad. Campo de aplicación igual al que tiene la textolita tipo ST
ST-II (SVFE-2)	0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; 3,5	Las mismas dimensiones	De reducidas tolerancias en espesor, pequeño valor deformante (de alabeo) y elevada rigidez. Está destinada para el empleo al aire en condiciones normales climatológicas con voltajes hasta 1000 V y frecuencia de 50 Hz en intervalo de temperaturas de -60 a $+155°$ C
STEF	0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,3; 2,5; 2,8; 3,0; 4,0; 4,5; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0 ÷ 16 (a cada 1 mm); 18; 20; 22; 25; 28; 30	Las mismas dimensiones	De reducidas tolerancias en espesor y pequeño valor deformante (de alabeo). Está destinado para el empleo al aire en condiciones normales climatológicas con voltajes mayores de 1000 V y frecuencia de 50 Hz, o en condiciones de humedad relativa del aire de un $95 \pm 3\%$ y temperatura de 35° C con voltajes no mayores de 1000 V y frecuencia de 50 Hz
STEF-I	Las mismas dimensiones	Las mismas dimensiones	Lo mismo, pero con estructura de mayor homogeneidad, en el estado inicial y posterior de maquinado. Campo de aplicación idéntico al que tiene la textolita vítrea tipo STEF
STK (STK-41)	Las mismas dimensiones	Las mismas dimensiones	De reducidas tolerancias en espesor y pequeño valor deformante (de alabeo), de ampliado intervalo de temperaturas de trabajo (de -60 a $+180°$ C). Está destinado para el empleo al aire en condiciones normales climatológicas con voltajes mayores de 1000 V y frecuencia de 50 Hz, o en condiciones de humedad relativa del aire de $95 \pm 3\%$ y temperatura de 35° C con voltajes no mayores de 1000 V y frecuencia de 50 Hz

Continuación de la tabla 17

Material	Tipo	Espesor de las hojas, mm	Dimensiones de las hojas, mm	Característica general y campo de aplicación
	STVK	Las mismas dimensiones	Las mismas dimensiones	Material basado en tela vítrea de sílice, impregnada con resina silicoorgánica. Se usa en las máquinas y aparatos eléctricos de alto voltaje, que funcionan prolongadamente a temperaturas de 180° C. Se distingue por sus cualidades hidrófugas y estabilidad al ambiente tropical
	STEF-R/E	10; 11; 12; 13; 14; 15; 16	450 × 600 y mayores	Material basado en tela vítrea y resina fenol-epoxídica. Se usa como aislamiento de cuñas en rotores de turbogeneradores
Textolita de amianto		6; 8; 10; 12; 15; 16; 18; 20; 22; 23; 25; 28; 30; 32; 35; 37; 38; 40; 42; 44; 46; 48; 50; 52; 55; 58; 60	Las mismas dimensiones	Material basado en tela de amianto y resina de baquelita. Resistencia al calentamiento 130° C. Se usa para fabricar cuñas y travesaños, en rotores de turbogeneradores y para otras piezas

Observación. Entre paréntesis se exhiben las denominaciones anteriores.

Tabla 18

Características físico-químicas de las masas plásticas estratificadas

Material	Tipo	Densidad, g/cm³	Resiliencia específica* (no menor), de $\frac{kgf \cdot cm}{cm^2}$	Resistencia al hendimiento (no menor), kgf	Límite de resistencia a la tracción, kgf/cm²	Límite de resistencia a la flexión estática, kgf/cm²	Termoestabilidad (por Marteas), °C
Hetinax	I	1,35-1,45	15/8**	170	800-1000	1000-1200	150-160
	II	1,35-1,45	15/8**	170	800-1200	1000-1300	150-160
	III	1,3-1,4	13/—**	200	700-1100	1000-1200	150-160
	IV	1,28-1,38	5/4**	170	600-700	600-700	150-160
	V-1; V-2	1,3-1,4	10/8**	150	600-1100	800-1000	150-160
	VI	1,3-1,4	—/8**	—	700-1400	Sin normalizar	
	VII	1,35-1,45	—/8**	—	700-1400	Lo mismo	
	VIII	1,3-1,4	—/8**	—	600-900	Lo mismo	
Madera-delta	DSP-V-E***	1,3-1,4	30-40	—	1100-1500	1500-1600	140-160
	DSP-B-E	1,3-1,4	80-90	—	2200-2600	2600-2700	180-190
Textolita	A	1,3-1,45	10/20****	300	350-680	700-950	135-140
	B	1,3-1,45	13/25****	300	450-650	800-1200	135-145
	G	1,3-1,45	10/20****	300	350-600	700-1400	135-140
	VCh	1,3-1,45	Sin normalizar		450-700	Sin normalizar	
Textolita vítrea	ST*****	1,6-1,85	35/12-45/15	130	700-750	950-1000	185-190
	ST-B*****	1,6-1,85	35/12-45/15	130	700-750	950-1000	185-190
	ST-I*****	1,6-1,85	45/15-55/20	130	750-800	1000-1100	185-190
	ST-II*****	1,6-1,9	—/15-—/20	—	1000-1050	—	—
	STEF	1,6-1,9	140/40-160/50	250	1750-1800	2200-2230	185-190
	STEF-1*****	1,6-1,9	150/50-180/60	250	2000-2100	2400-2500	185-195
	STK	1,6-1,8	30-50	80	900-1500	—	225-250
	STVK	1,6-1,8	35-40	100	900-1200	1000-1200	225-250
	STEF-R/E	1,6-1,7	200-210	280	2000-2600	2800-3500	200-220
Masas plásticas de amianto	Textolita de amianto	1,5-1,7	20	200	—	900-1000	210-220
	Hetinax de amianto	1,6-1,7	12	170	800-850	1100-1110	185-190

* Los valores de resiliencia, límite de resistencia a la tracción y a la flexión estática se refieren a las muestras recortadas en dirección transversal de las hojas, es decir, representan los valores menores de estas propiedades.

** En el numerador del quebrado se exhiben los valores para muestras de hetinax de 10 mm y más en espesor, en el denominador para muestras de 1 a 9,5 mm en espesor.

*** En la masa plástica de madera estratificada DSP-V-E en todas sus capas adyacentes las fibras se sitúan perpendicularmente. En el material DSP-B-E cada 5-20 capas con fibras situadas paralelamente se alternan con una capa de enchapado, en el cual las fibras se sitúan en dirección perpendicular a la de las capas adyacentes.

**** Los valores menores de la resiliencia específica (numerador) se refieren a muestras de textolita de 1 a 5 mm de espesor; los mayores, a muestras de 10 mm y más de espesor.

***** En el numerador se exhiben los valores para muestras de textolita vítrea de 10 mm y más de espesor; en el denominador, para muestras de 1 a 9,5 mm. Los valores mayores se refieren a muestras recortadas en dirección de la urdimbre de la tela; los menores, a muestras recortadas en dirección de la trama (perpendicularmente a la urdimbre).

Tabla 19

Características eléctricas de las masas plásticas estratificadas

Material	Tipo	Resistividad volumétrica a 20° C	Permeabilidad dieléctrica a a 20° C y 50 Hz	Tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas a 20° C y 50 Hz	Rigidez dieléctrica E_r perpendicularmente a las capas, kV/mm**		Voltaje disruptivo promedio paralelamente a las capas, kV	
					a 20° C	a 90° C	a 20° C	a 90° C
Hetinax	I	10^{10}-10^{12}	6-7	0,06-0,18	12-20	—	15-18	—
	II	10^{10}-10^{11}	6-8	0,08-0,20	12-20	—	15-18	—
	III	10^{10}-10^{11}	6-8	0,05-0,12	13-20	—	13-18	—
	IV	10^{11}-10^{12}	6-8	0,06-0,15	15-25	—	25-28	—
	V-1 V-2	10^{11}-10^{12}	6-7	0,03-0,045	20-25	15-22	18-22	9-12
	VI	10^{10}-10^{11}	6-7*	0,035-0,060*	20-26	—	—	—
	VII	10^{11}-10^{12}	6-7*	0,03-0,043	22-33	—	—	—
	VIII	10^{12}-10^{13}	6-7*	0,025-0,035*	25-30	—	—	—
Madera-delta	DSP-V-E	10^{11}-10^{12}	7-8	0,08-0,1	8-10	3-4	16-17	8-9
	DSP-B-E	10^{11}-10^{12}	7-8	0,06-0,1	8-9	4-5	16-19	8-9
Textolita	A	10^{10}-10^{12}	5-6	0,06-0,1	—	5-9	—	8-9 kV/mm
	B	10^{9}-10^{10}	5-6	0,1-0,3	—	3-5	—	6-7 kV/mm
	G	10^{10}-10^{11}	6-7	0,08-0,2	—	5-8	—	8-9 kV/mm
	VCh	10^{10}-10^{12}	7-8*	0,05-0,07*	—	5-9	—	8-10 kV/mm
Textolita vítrea	ST	10^{11}-10^{11}	5-6	0,05-0,09	12-16	10-12	18-22	10-11
	ST-B	10^{10}-10^{11}	5-6	0,05-0,09	12-16	10-12	18-20	10-11
	ST-I	10^{10}-10^{11}	5-6	0,06-0,09	12-16	10-12	20-21	10-12
	ST-II	10^{12}-10^{13}	5-6	0,06-0,01	14-18	12-15	20-22	—
	STEF	10^{13}-10^{14}	4-5	0,006-0,03	30-32	20-25	22-24	30-32
	STEF-I	10^{13}-10^{14}	4-5	0,008-0,03	30-34	20-25	22-24	30-32
	STK	10^{12}-10^{13}	5-6	0,018-0,04	14-18	10-14	18-20	10-12
	STVK	10^{12}-10^{13}	4-5	0,008-0,03	12-14	10-12	—	—
	STEF-R/e	10^{13}-10^{14}	5-4	0,02-0,05	12-14	9-10	—	—
Masas plásticas de amianto	Textolita de amianto	10^{8}-10^{9}	7-8	0,3-0,7	1,5-2,0	—	5-6	—
	Hetinax de amianto	10^{9}-10^{10}	7-8	0,2-0,5	8-9	—	10-12	—

* Para hetinax tipo VI, VII, VIII y textolita tipo VCh los valores ε y tg δ se exhiben a frecuencia de 10^6 Hz.

** Los valores menores de rigidez dieléctrica para hetinax, textolita y textolita vítrea se refieren a muestras de estos materiales con 3 mm de espesor; los mayores, a muestras con 0,8-1 mm de espesor.

la primera posee inferior resistencia al calentamiento (90° C), al hendimiento y posee mayor higroscopicidad.

La madera-delta se aplica en la fabricación de piezas constructoras y electroaislantes, que funcionan sumergidas en aceite (tensores de los interruptores de aceite, juntas en los aparatos de aceite, etc.). Para poder funcionar a la interperie los artículos fabricados de madera-delta exigen una protección minuciosa contra el agua, usando barnices y esmaltes resistentes a la humedad.

La textolita de amianto es una masa plástica aislante estratificada, que se obtiene aprensando en caliente hojas de tela de amianto, impregnadas éstas inicialmente con resinas de baquelita. De la misma se elaboran artículos moldeados (travesaños y cuñas para rotores de turbogeneradores, paneles, etc.) y también hojas y planchas de 6 a 60 mm en espesor. En comparación con el hetinax y textolita habituales la textolita de amianto posee inferior resistencia al calentamiento. Este material puede utilizarse hasta temperaturas de 130° C (clase B de resistencia al calentamiento).

El hetinax de amianto es una masa plástica estratificada, que se obtiene aprensando en caliente hojas de papel de amianto; éstas contienen 20% de celulosa sulfática (hetinax de amianto tipo A-1) o solamente papel de amianto sin celulosa (hetinax de amianto tipo A-2) e impregnados con aglutinantes de epoxí-fenolformaldehido. Por su resistencia al calentamiento pertenecen a la clase B (130° C).

Las textolitas vítreas con aglutinantes silicoorgánicos y epoxídicos, entre los examinados materiales electroaislantes estratificados, son de mayor resistencia al calentamiento y de estabilidad al moho, poseen mejores cualidades eléctricas, mecánicas e hidrófugas.

Durante el maquinado de la textolita vítrea surgen ciertas dificultades, puesto que la fibra vítrea es abrasiva para los instrumentos de acero. En este caso se recomienda utilizar instrumentos de acero rápido y aleaciones duras.

En las tablas 17—19 se exhiben las dimensiones y características eléctricas de las masas plásticas estratificadas.

§ *17. Artículos devanados electroaislantes*

Los productos en forma de tubos y cilindros, que se fabrican devanando materiales fibrosos (papel, tejidos) sobre una armadura metálica redonda, llevan el nombre de artículos electroaislantes devanados. Estos materiales con anterioridad son impregnados en sustancias conglutinantes (resina, barniz).

En calidad de materiales fibrosos se utilizan tipos especiales de papeles devanadores o impregnantes, también se usan telas de algodón y de vidrio. Como sustancias conglutinantes se aplican resinas de baquelita, epoxídicas, silicoorgánicas y otras.

Tabla 20

Artículos electroaislantes devanados. Dimensiones y campo de aplicación

Clasificación por la base	Denominación de los artículos	Dimensiones principales, mm					Campo de aplicación
		diámetro interior	valores intermedios del diámetro interior	grueso de la pared	longitud del artículo	valores intermedios de la longitud	
Papel-baquelita	Tubos	10-30	Múltiples de 2 y 5 mm	1,5	200-500 505-1000	Múltiples de 5 mm	Se usan desde —40 hasta +105° C al aire o en aceite para transformadores en los aparatos e instrumentos eléctricos
		32-80	Lo mismo	1,5	200-500 505-1000 1010-1200 1210-1500 1550-2000	Múltiples de 5 y 10 mm	
	Cilindros TsB	85-150	Múltiples de 5 mm	2,0	200-500	Múltiples de 5 mm	Lo mismo
		155-250	Lo mismo	2,0	505-1000	Lo mismo	
		255-350	Lo mismo	2,5	1010-1200	Múltiples de 10 mm	
		355-500	Lo mismo	3,0	1210-1500	Lo mismo	
		510-650	Múltiples de 10 mm	4,0	1550-2000	Lo mismo	
		660-800	Lo mismo	5,0			
		810-1000	Lo mismo	7,0			
		1010-1200	Lo mismo	8,0			
Textolita con resina de baquelita	Tubos	5-30	A cada 1 mm	1,5	De 100 y más	200; 300; 400; 500; 600	Lo mismo

	Cilindros	32-75 76-125 126-300	Múltiples de 2 y 5 mm	5 6 7	De 200 y más	300; 400; 600	Lo mismo
	Varas	Diámetro exterior 8-60	8, 13, 18, 25, 40, 60	—	De 200 a 500	A cada 10 mm	Se usan desde —40 hasta +105° C al aire o en aceite para transformadores. Toleran el maquinado
Textolita vítrea con resina silicoorgánica	Tubos	10-80	Múltiples de 2 y 5 mm	2,0	De 200 a 500	—	Se usan desde —60 hasta +180° C, al aire (transformadores de minería y otros aparatos eléctricos). Toleran el taladrado y corte
	Cilindros	80-150 155-250 255-350 355-500 500-600	A cada 5 mm	2,5 2,5 2,5 3,0 5,0	De 500 a 1500	—	
Textolita vítrea con resina epoxi-fenólica	Tubos TSE	10-20	Múltiples de 2 ó 5 mm	2-5	650; 750	—	Se usa desde —65 hasta +150° C, en aceite para transformadores y al aire
		22-80	Lo mismo	2-10	650; 750	—	
	Cilindros TsSE	85-400	Múltiples de 5 mm	3-20	650; 750	—	Lo mismo
		410-600	Múltiples de 10 mm	4-20	850	—	Lo mismo
	Cilindros TsSEV	90-140	Múltiples de 5 mm	10-20	275; 320; 420; 640; 840	—	Lo mismo, pero con características mejoradas

Clasificación por la base	Denominación de los artículos	Propiedades físico-mecánicas*		
		densidad g/cm³	límite de resistencia a la flexión estática, kgf/cm²	límite de resistencia a la compresión longitudinal, kgf/cm²
Papel-baquelita	Tubos	1,05-1,12	800-900	400-500
	Cilindros	1,05-1,12	800-950	400-500
Textolita con resina de baquelita	Tubos	1,05-1,20	800-900	450-550
	Cilindros	1,05-1,20	800-900	450-550
	Varas	1,25-1,4	1000-1300	450-550
Textolita vítrea con resina silicoorgánica o epoxifenólica	Tubos	1,3-1,5	—	450-700
	Cilindros	1,3-1,5	1600-1800**	450-700**

* Para expresar la densidad, en límite de resistencia a la flexión estática y a la por 10^3, 10^5 y 10^6, respeltivamente.

** Los valores mayores de las características mecánicas se refieren a los artículos se refieren a los artículos basados en resinas silicoorgánicas.

*** En las varas de textolita el voltaje disruptivo se determina paralelamente a las entre sí este voltaje se encuentra a un nivel de 8 a 9 kV.

Los artículos electroaislantes devanados conjuntamente con las armaduras en las que están enrollados se someten a tratamiento térmico. La temperatura y duración del proceso térmico dependen del material conglutinante y del grueso de las paredes del producto. Con el fin de reducir la higroscopicidad de los artículos devanados, éstos se barnizan. Cada vez, después de barnizar, los artículos devanados se vuelven a secar (cocer).

Definitivamente los artículos devanados son tubos y cilindros electroaislantes de papel-baquelita, textolita o vitrotextolita. En los artículos devanados de vitrotextolita resistentes al calentamiento (180—200° C) se usan resinas y barnices silicoorgánicos.

Las varillas continuas de textolita se pueden relacionar con los

Tabla 21

artículos electroaislantes devanados

Características eléctricas a 20° C				
higroscopicidad, %	resistividad volumétrica, ohm·cm	permeabilidad dieléctrica a 50 Hz	tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas a 50 Hz	rigidez dieléctrica E_r, kV/mm
3,5-4,5	10^{10}-10^{12}	4,5-5,0	0,01-0,03	8-16
2,5-4,0	10^{10}-10^{12}	4,5-5,0	0,01-0,03	6-12
2,5-5	10^{10}-10^{12}	4,0-5,0	0,02-0,051	6-10
1,2-4	10^{10}-10^{12}	4,0-5,0	0,01-0,04	5-12
0,4-1,0	10^{9}-10^{11}	4,0-5,0	—	8-9***
0,9-1,5	10^{12}-10^{14}	3-5	0,03-0,05	2,5-7
0,6-0,8	10^{12}-10^{14}	3-5	0,03-0,05**	2,5-5,5

compresión (longitudinal) en el sistema SI hay que multiplicar los valores de las tablas basados en resinas epoxifenólicas. Los valores superiores de las características eléctricas capas. Situando las varas-electrodos, de 5 mm en diámetro, a una distancia de 10 mm

artículos devanados. También se elaboran al devanar prefabricados de relleno textil (chifón, percal, etc.), impregnados éstos con barnices de baquelita. Posteriormente los prefabricados se aprensan en caliente en moldes-prensas metálicas.

Los productos devanados y aprensados toleran todo tipo de maquinado.

Los artículos electroaislantes devanados se utilizan en los transformadores con aislamiento de aceite y aéreos, en los interruptores de aceite y de aire, en diferentes aparatos y dispositivos de equipos eléctricos.

En las tablas 20 y 21 presentamos las características principales de los artículos electroaislantes devanados.

§ 18. Tubos electroaislantes

Tabla 22

Características fundamentales de los tubos electroaislantes

Tipo de los tubos	Diámetro interior de los tubos, mm	Grueso de la pared, mm	Característica general	Voltaje disruptivo (no menor), kV		Resistencia eléctrica a 20° C de 1 m de tubo, Mohms (no menor)
				en estado inicial a 20° C	a las 24 h de permanecer en ambiente húmedo	
TLV*	0,5; 0,75 1; 1,5; 2,0; 2,5 3,0; 3,5; 4,0; 4,5 5; 6; 7; 8; 9; 10 11; 12; 13; 14; 15; 16	0,4-0,5 0,7 0,7 0,8 0,9	Tubos de tela de algodón (linoxina) impregnados con barniz claro de aceite. Clase A de resistencia al calentamiento (105° C). Estabilidad a la congelación —50° C. Están destinados para funcionar al aire	5	2	1000
TLM*	Las mismas medidas	Los mismos gruesos	Lo mismo, pero oleorresistentes destinados para funcionar en aceites minerales	5	1	1000
TPL	0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 6; 7; 8; 9; 10	0,4 0,5 0,6 0,8	Tubos de lavsán impregnados con barniz de poliéter. Clase A de resistencia al calentamiento (105° C). Estabilidad a la congelación —50° C. Oleorresistentes	5	3,5	1000
TEL	Las mismas medidas	Los mismos gruesos	Lo mismo, pero de mayor resistencia al calentamiento. Clase B (130° C). Oleorresistentes	5	3,5	1000
TPS	0,35; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0 2,5; 3,0; 3,5 4,0; 4,5; 5,0; 6,0 7; 8; 9; 10	0,4 0,5 0,6	Tubos de hilos vítreos impregnados con barniz de pentafluoruro. Clase E de resistencia al calentamiento (120° C). Estabilidad a la congelación —60° C. Oleorresistente	5	3,0	Resistividad volumétrica a 20° C 10^{11} ohm·cm (no menor)

TPL	Las mismas medidas	Los mismos gruesos	Tubos de fibras de lavsán impregnados con barniz de pentafluoruro. Clase E de resistencia al calentamiento (120° C). Estabilidad a la congelación —60° C. Oleorresistentes, de mayor resistencia, mecánica	5	3,0	El mismo valor
TES	Las mismas medidas	Los mismos gruesos	Tubos de hilos vítreos impregnados con barniz epoxipolietérico. Clase B de resistencia al calentamiento (130° C). Estabilidad a la congelación —60° C. Resistentes a los aceites y gasolina	5	2,0	El mismo valor
TEL	Las mismas medidas	Los mismos gruesos	Tubos de fibras de lavsán impregnados con barniz epoxipolietérico. Clase B de resistencia al calentamiento (130° C). Estabilidad a la congelación —60° C. Resistente al aceite, gasolina y xilol, de mayor resistencia mecánica	5	2,0	El mismo valor
TETS	Las mismas medidas	Los mismos gruesos	Tubos de hilos vítreos impregnados con barniz epoxipolietérico. Clase B de resistencia al calentamiento (130° C). Estabilidad a la congelación —60° C	5	2,0	El mismo valor
TKS	Las mismas medidas	Los mismos gruesos	Tubos de hilos vítreos impregnados con barniz silicoorgánico. Clase H de resistencia al calentamiento (180° C). Estabilidad a la congelación —60° C	5	2,0	El mismo valor
TKSG	2,0; 2,5; 3,0 4,0; 5,5; 7,5	0,3-0,4 0,5	Tubos de hilos vítreos con una capa de goma silicoorgánica. Clase H de resistencia al calentamiento (180° C). Estabilidad a la congelación —50° C	4	3,5	Resistividad volumétrica 10^{12} ohm·cm (no menor)
TKR	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 4,0; 4,5; 5; 6; 7; 8; 10 12; 14; 16; 18	0,9 1,3 1,6	Tubos de goma silicoorgánica. Clase H de resistencia al calentamiento (180° C). Estabilidad a la congelación —60° C	10	8	Resistividad volumétrica a 20°C 10^{12} ohm·cm (no menor)

Continuación de la tabla 22

Tipo de los tubos	Diámetro interior de los tubos, mm	Grueso de la pared, mm	Característica general	Voltaje disruptivo (no menor), kV		Resistencia eléctrica a 20° C de 1 m de tubo, Mohms (no menor)
				en estado inicial a 20° C	a las 24 h de permanecer en ambiente húmedo	
230**	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5	0,3-0,5	Tubos de plásticos de polivinilcloruro, coloreados y sin colorear.	6	3	Resistividad volumétrica a 20° C $5 \cdot 10^{11}$ ohm·cm
230-T**	4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0	0,5-0,7	Resistencia al calentamiento 70° C. Estabilidad a la congelación —40° C			
	10; 12; 14; 16; 18	0,5-0,8				
	20; 25; 30; 34; 36; 40	1-2				
Tubos de ftoroplast	0,3; 0,5; 0,8; 1,0	0,2	Tubos de ftoroplast-4D de alta resistencia al calentamiento (250° C). Estabilidad a la congelación —160° C	26	25	Resistividad volumétrica a 20° C 10^{16} ohm·cm (no menor)
	1,0; 1,5; 2,0	0,3				
	2,5; 3,0	0,4				
	3,5; 4,0; 4,5; 5,0	0,6				
	5,5; 6,0; 6,5; 7,0	1,0				
	7,0; 8,0; 8,5; 9; 10	1,5				

* Los tubos de linoxina tienen normado el esfuerzo disruptivo a la tracción —P_t. Para los tubos de 0,5—1 mm en diámetro $P_t = 3$ kgf (no menor), para los tubos de 1,5—2 mm en diámetro $P_t = 5$ kg, para los tubos de 2,5—3,0 mm en diámetro $P_t = 8$ kg, para los tubos de 4—16 mm en diámetro $P_t = 10$—12 kg.

** Son formulaciones del plástico de policloruro de vinilo.

§ 19. *Materiales electroaislantes minerales*

Al grupo de materiales electroaislantes minerales pertenecen las rocas minerales (mica, mármol, fibrocemento, clorito de talco y basalto) y también los materiales obtenidos de cemento de portland y asbesto (asbestocemento y asbesto plastificado). Todo este grupo de dieléctricos inorgánicos se destacan por su alta resistencia a las acciones del arco eléctrico y poseen suficientemente altas características mecánicas. Los dieléctricos minerales (excluyendo la mica y el basalto) toleran el maquinado, menos el roscado.

Los artículos electroaislantes de mármol, fibrocemento y clorito de talco se fabrican en forma de tablones para paneles y bases electroaislantes de interruptores y conmutadores de bajo voltaje. Los artículos aislantes de basalto fundido se pueden obtener exclusivamente mediante coladas en moldes. Con el fin de que los artículos de basalto puedan apropiarse de características eléctricas y mecánicas requeridas, éstos son tratados térmicamente, después de lo cual en los mismos se forma una fase cristalina.

Los artículos electroaislantes de cemento amiantado y asbesto plastificado se elaboran en forma de tablones, bases, separadores y cámaras rompearcos. Para la elaboración de artículos de cemento amiantado se utilizan mezclas compuestas de cemento de portland (tipo no inferior a 400) y fibras de asbesto. El GOST permite la fabricación de tableros electrotécnicos de cemento amiantado de 1200 mm de largo, 700—800 mm de ancho y espesores de 10 a 40 mm.

Los productos de asbesto plástico se obtienen mediante aprensado en frío de una masa, a la que se adiciona cerca del 15% de sustancias plásticas (caolín o arcilla de moldear). Con esto la masa inicial, que se va a prensar, adquiere gran fluidez, lo cual permite fabricar piezas electroaislantes de asbesto plastificado y configuraciones complejas (bases de contactores, etc.).

El defecto fundamental, que tienen muchos de los dieléctricos minerales (excluyendo la mica), consiste en el bajo nivel de las características eléctricas, provocado por el gran contenido de poros y óxidos ferrosos. El nivel insuficiente de las características eléctricas tolera utilizar estos materiales solamente en instalaciones de bajo voltaje (mármol, fibrocemento, cemento amiantado y basalto).

Todos los dieléctricos minerales, menos la mica y el basalto, se utilizan en la mayoría de los casos después de impregnar. Para impregnar dieléctricos minerales sirven la parafina, betunes, estireno, resinas de baquelita, etc. El mayor efecto se consigue, impregnando dieléctricos minerales ya laborados mecánicamente (paneles, separadores, cámaras y otros artículos). El mármol y sus productos no soportan cambios bruscos de temperatura, y en estos casos se agrietan. El fibrocemento, clorito de talco, la mica y el cemento amiantado son de mayor estabilidad a los cambios bruscos de temperatura.

Las características principales de los materiales electroaislantes minerales se muestran en la tabla 23.

Tabla 23

Características fundamentales de los materiales electroaislantes minerales

Material	Densidad, g/cm³	Características mecánicas				Características eléctricas a 20° C		Higroscopicidad en 24 h, %	Característica general
		Límite de resistencia a la tracción, kgf/cm²	Límite de resistencia a la compresión, kgf/cm²	Límite de resistencia a la flexión estática, kgf/cm²	resiliencia específica, $\frac{kgf \cdot cm}{cm^2}$	ρ_v, ohm·cm	E_r, kV/mm		
Mármol	2,5-2,9	180-300	800-2000	40-150	2,0-5,0	10^9-10^{10}	1,0-4,0	0,10-0,50	El material puede ser sometido al taladrado, aserrado, afresado, pulimentado
Fibrocemento	2,7-2,8	170-200	700 1500	300-500	3,5-5,0	10^8-10^9	0,5-1,5	0,5-1,0	El material se labora igual que el mármol, además puede ser hendido a lo largo de las capas
Clorito de talco (de los Urales)	2,8-3,0	100-150	700-1000	80-200	1,5-2,8	10^7-10^9	0,8-1,0	0,4-1,5	El material se labora fácilmente de los mismos modos que el mármol y el fibrocemento. Después de recocido obtiene una estructura más densa
Basalto (de Rovno)	2,9-3,1	220-250	2000-2500	600-800	1,4-1,7	10^{10}-10^{11}	3,0-4,0	0,01-0,02	El material es resistente al desgaste y al arco, tolera solamente el esmerilado

Asbesto-cemento	1,6-1,8	50-60	800-1500	350-600	4,0-9,0	10^8-10^9	1,5-2,0	15-25	El material es resistente mecánicamente y al arco, puede ser sometido al aserrado, taladrado y afresado. Los artículos se fabrican por medio de fundición y prensado
Asbesto plastificado	2,1-2,2	—	700-800	250-280	2,5-3,5	10^8-10^9	2,0-3,0	10-15	Asbestocemento, modificado con un 10-15% de arcilla moldeable. El material es de gran fluidez, lo cual permite obtener artículos resistentes al arco, de configuración compleja
Mica muscovita desmenuzada (espesor de las hojuelas 5-45 μ)	2,8-2,9	17-36	3500-5500	—	—	10^{15}	120-190	0,18	Separadores juntas resistentes al calentamiento (hasta 500° C), condensadores y en materiales aglutinados de mica (micanitas, cintas de mica y demás)
Mica flogopita desmenuzada (espesor de las hojuelas 5-45 μ)	2,7-2,8	16-22	2100-2550	—	—	10^{11}	100-180	0,28	Lo mismo, pero de mayor resistencia al calentamiento (600-800° C)

Observación. Para expresar la densidad, el límite de resistencia (a la tracción, a la compresión y a la flexión estática) y la resiliencia específica en SI se debe multiplicar los valores de la tabla por 10^3, 10^5 y 10^3, respectivamente.

§ 20. *Materiales electroaislantes de mica*

Los materiales electroaislantes micáceos se componen de laminillas de mica aglutinadas mediante cualquier resina o laca conglutinante. Pertenecen a este grupo de materiales las micanitas, micafolios y cintas de mica.

Estos materiales aglutinados de mica se aplican fundamentalmente en el aislamiento de los devanados de las máquinas (motores eléctricos, generadores) de alto voltaje, también se usan en el aislamiento de las máquinas de bajo voltaje y resistentes al calor (clase H) o que funcionan en condiciones difíciles de explotación.

Las micanitas son materiales laminares rígidos o flexibles y se obtienen aglutinando laminillas de mica exfoliada (muscovita, flogopita o mezcla de estas dos) mediante resinas con goma laca, gliftálicas, silicoorgánicas y otras, o mediante barnices basados en estas resinas.

Los tipos fundamentales de las micanitas son para colectores, interposición, juntas, moldeable y flexible.

Las micanitas para collectores y juntas pertenecen al grupo de micanitas duras, las cuales después de aglutinadas se someten al prensado a elevadas presiones específicas y con calentamiento. Estas micanitas son de menor retracción en espesor y poseen mayor densidad.

Las micanitas moldeables y flexibles son de una estructura más friable y de menor densidad.

La micanita para colectores es un material laminar duro y se elabora aglutinando laminillas de mica flogopita bien con resinas con goma laca o gliftálicas, bien mediante barnices basados en estas mismas resinas. Con el fin de garantizar buena resistencia mecánica al utilizar estas micanitas (tipos KFSh, KFG, KFGS) en los colectores de las máquinas eléctricas, la cantidad de sustancia aglutinante no debe ser mayor de un 4%. En las micanitas tipo KFA esta cantidad de aglutinante (amonio—ácido fosfórico) no debe ser mayor de 0,6%. La micanita para colectores se comprime a presiones de 180 a 260 kgf/cm² y temperaturas de 160 a 170° C.

Las letras y cifras en la denominación de los tipos de micanita significan: K, para colector; F, basada en mica flogopita; Sh, a base de la resina de goma laca; G, a base de la resina gliftálica; S, especial; A, con aglutinante inorgánico (amonio-ácido fosfórico). La micanita para colectores se elabora en hojas no menores de 215 por 465 mm, de espesor calibrados.

La micanita para juntas es un material laminar duro, y se elabora aglutinando laminillas de mica exfoliada (muscovita, flogopita o mezcla de estas dos), mediante resinas con goma laca, gliftálicas o mediante barnices basados en estas resinas. Después de aglutinadas las hojas de micanita para juntas se someten al prensado a 150—160° C y presiones de 35 a 60 kgf/cm². Las micanitas para juntas contienen del 75 al 95% de mica y del 25 al 5% de sustancia aglutinante.

Las letras en la denominación de los tipos de micanita para juntas significan: P, para juntas; M, basada en mica muscovita; F, basada en mica flogopita; S, con mezcla de micas; G, con resina gliftálica; Sh, a base de la resina con goma laca; K, con resina silicoorgánica; la letra A indica el bajo contenido de aglutinante (del 5 al 12%).

La micanita para juntas se elabora de espesor calibrado y sin calibrar. Las dimensiones de las hojas de este material son no menores de 550 por 650 mm.

La micanita moldeable es un material laminar duro, se elabora aglutinando laminillas de mica exfoliada (muscovita, flogopita o mezcla de estas dos) mediante resinas de goma laca, gliftálicas, silicoorgánicas o con barnices basadas en estas resinas. Después de aglutinadas las hojas de micanita moldeable se someten al prensado a temperaturas de 140 a 150° C y presiones de 6 a 10 kgf/cm^2. Las micanitas moldeables contienen del 80 al 92% de mica y del 20 al 8% de sustancia aglutinante. De la micanita moldeable se fabrican por prensado en caliente (por moldeo) manguitos de colector, conos, armazones para bobinas y otros artículos electroaislantes de configuraciones complejas.

Las letras y cifras en la denominación de los tipos de micanita moldeable significan; F, moldeable; F, basada en mica flogopita; M, basada en mica muscovita; S, con mezcla de micas; Sh, con resina de goma laca; G, con resina gliftálica; K, con resina silicoorgánica; A, indica el bajo contenido de sustancia aglutinante (de 5 a 14%).

La micanita moldeable se elabora en hojas con dimensiones no menores de 550 por 650 mm.

La micanita flexible es un material laminar flexible a temperatura de ambiente. La micanita flexible se elabora aglutinando laminillas de mica exfoliada (muscovita o flogopita) mediante barnices (sin secante) oleobituminosos, oleogliftálicos o silicoorgánicos, los cuales forman películas flexibles.

Para aumentar la resistencia mecánica ambas superficies de algunos tipos de micanitas flexibles se encolan con papel micáceo.

Las micanitas flexibles, no encoladas con papel, contienen del 75 al 90% de mica y del 25 al 10% de sustancia aglutinante. Las micanitas encoladas con papel contienen del 65 al 50% de mica, del 10 al 25% de sustancia aglutinante y el resto es papel.

Las letras y cifras en la denominación de los tipos de las micanitas flexibles significan; G, flexible; M, basada en mica muscovita; F, basada en mica flogopita; S, con barniz oleogliftálico claro; Ch, con barniz oleobituminuso negro; K, con barniz silicoorgánico; O, encolada con papel.

Las micanitas flexibles encoladas con papel se fabrican en hojas con dimensiones no menores de 450 por 650 mm, y las no encoladas con papel, de 550 por 650 mm.

La micanita vítrea flexible es un material laminar flexible a temperatura de ambiente. Es una variedad de la micanita flexible

que se distingue por sus elevadas resistencias a la rotura y al calentamiento. La micanita vítrea flexible se elabora aglutinando laminilla de mica flogopita exfoliada con barnices silicoorgánicos u oleogliftálicos, los cuales forman películas flexibles y resistentes al calentamiento. A las hojas de micanita vítrea flexible se les pegan, por uno o ambos lados, telas vítreas no alcalinas. Las micanitas flexibles contienen del 45 al 60% de mica y del 13 al 30% de sustancia aglutinante; lo restante son tejido de lana de vidrio y sustancias volátiles.

Las micanitas vítreas flexibles se fabrican en hojas con dimensiones no menores de 640 por 850 mm.

Las letras y cifras en la denominación de los tipos de micanita vítrea significan: G_1, flexible, encolada solamente por un lado; G_2, flexible, encolada por los dos lados; F, basada en mica flogopita; K, con barniz silicoorgánico; G, con barniz oleogliftálico; I, de elevada rigidez dieléctrica; II, de rigidez dieléctrica normal.

El micafolio es un material electroaislante en hojas o en forma de rollo, se moldea en caliente. Se compone de una o unas cuantas (dos o tres) capas de hojuelas de mica (muscovita o flogopita) aglutinadas entre sí y con una cinta de papel (de 0,05 mm de espesor), o con tejido de lana de vidrio o bien, con una malla vítrea. En calidad de barnices aglutinantes se usan los de goma laca, gliftálicos, polietéricos o silicoorgánicos.

El micafolio contiene del 50 al 65% de mica, del 32 al 12% de sustancias aglutinantes y el resto lo constituyen papel y sustancias volátiles. El micafolio se fabrica en rollos con anchos no menores de 500 mm para las de papel; no menores de 700 mm para las del tejido de lana de vidrio y de malla vítrea; también se fabrica en hojas con dimensiones de 500 por 1000 mm y de 700 por 1000 mm.

En la denominación de los tipos las letras significan: M, micafolio; M (en la segunda posición), basada en mica muscovita; F, basada en mica flogopita; G, con barniz gliftálico; Sh, con barniz de goma laca; P, con barniz polietérico; K, con barniz silicoorgánico; B, con papel; T, con tejido de lana de vidrio; S, con malla vítrea.

La cinta de mica es un material electroaislante en forma de rollo, flexible a temperatura ambiente. Se compone de una capa de hojuelas de mica exfoliada (muscovita o flogopita) aglutinadas entre sí y encoladas por uno o ambos lados con una cinta de papel de mica fina (de 20 a 25 micras), con tejido de lana de vidrio o malla vítrea.

En calidad de barnices aglutinantes se usan los oleobituminosos (negros), oleogliftálicos (claros), silicoorgánicos o las soluciones de cauchos.

Las cintas de mica contienen del 45 al 50% de mica, del 8 al 30% de sustancia aglutinante, no más del 6% de sustancias volátiles, lo restante es papel o tejido de lana de vidrio. Se fabrica en rollos con diámetros de 110 mm, y con anchos de 10, 15, 20, 23, 25, 30 y 35 mm.

Las letras en la denominación de los tipos significan: L, cinta; M, basada en mica muscovita; F, basada en mica flogopita; Ch, basada en barniz oleobituminuso; S, basadas en barniz oleogliftálico; K, basada en barniz silicoorgánico; R, basada en solución de caucho; B, encolada por uno de los lados con papel de mica; BB, encolada por ambos lados con papel de mica; TT, encolada por ambos lados con tejido de lana de vidrio; SS, encolada por ambos lados con malla vítrea; TS, encolada por uno de los lados con tejido de lana vítrea y por el otro con malla vítrea; TB, encolada por uno de los lados con tela vítrea y por otro, con papel de mica.

La seda de mica es un material electroaislante en forma de rollo, flexible a temperatura de ambiente. La seda de mica es una variedad de las cintas de mica, pero de mayor resistencia a la rotura.

La cinta de mica se compone de una capa de hojuelas de mica exfoliada (muscovita o flogopita) aglutinadas entre sí y encoladas por uno de los lados con seda natural y por el otro, con papel de mica. En calidad de barnices aglutinantes se usan los oleogliftálicos u oleobituminosos, creadores de películas flexibles.

Las letras en la denominación de los tipos significan: L, cinta; M, basada en mica muscovita; F, basada en mica flogopita; Sh, encolada con seda (por uno de los lados); B, encolada con papel (por el otro lado); S, con barniz oleogliftálico (claro); Ch, con barniz oleobituminoso (negro).

La seda mica se fabrica en rollos con anchos de 400 a 900 mm.

La cinta ancha de mica es un material electroaislante en chapas o en forma de rollo, flexible a temperatura ambiente.

La cinta ancha de mica se compone de una o varias capas de mica exfoliada (muscovita o flogopita) aglutinadas entre sí y encoladas por ambos lados con tela de percal o con papel de mica por un lado y con tela, por el otro.

Las letras en la denominación de los tipos de cinta ancha de mica significan: L, cinta; PP, encolada por los dos lados con percal; PB, encolada por un sólo lado con percal y por el otro, con papel de mica; Ch, con barniz oleobituminoso (negro); S, con barniz oleogliftálico (claro); M, basado en mica muscovita; F, basada en mica flogopita. La cinta ancha de mica se fabrica en forma de rollos con anchos de 300 a 600 mm y en hojas con dimensiones de 870 a 1000 mm.

El micalex es una masa plástica de mica, se fabrica por prensado de una mezcla de vidrio y mica pulverizada. Después de prensados, los artículos se someten al tratamiento térmico a temperaturas de 750 a 850° C.

El micalex se fabrica en forma de placas y varillas, así como en forma de distintos artículos electroaislantes (paneles, bases para conmutadores, condensadores aéreos, etc.). Durante el prensado, a las piezas de micalex se les puede encajar piezas metálicas. Los artículos de micalex pueden ser sometidos a todo tipo de maquinado. La resiliencia específica del micalex es de 3 a 5 kgf·cm/cm^2, la resistencia a la compresión es de 1000 a 1200 kgf/cm^2, la densidad

Tabla 24

Características fundamentales de los materiales electroaislantes de mica

Denominación	Tipo del material	Espesor del material, mm	Características eléctricas a 20° C		Característica general y campo de aplicación
			ρ_v, ohm·cm	E_r, kV/mm	
Micanita para colectores	KFG, KFSh	0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90; 1,00; 1,10; 1,20; 1,30; 1,40; 1,50	10^{14}-10^{15}	18-20	Los separadores (juntas) electroaislantes entre las delgas en los colectores de las máquinas eléctricas
	KFGS	0,40; 0,50; 0,60	10^{14}-10^{15}	18-22	
Micanita para colectores con amonio-ácido fosfórico	KFA	0,70; 0,80; 0,90; 1,00; 1,10; 1,20	10^{13}-10^{14}	18-25	Lo mismo, pero en máquinas eléctricas confeccionadas resistentes al calentamiento
Micanita para juntas	PMG, PMGA, PFG, PFGA, PSG, PSGA	0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90; 1,00; 1,50; 2,00; 3,00; 5,00	10^{13}-10^{14}	15-24	Las arandelas y juntas duras electroaislantes de distintas aplicaciones en las máquinas y aparatos eléctricos
	PMSh, PMShA, PFSh, PFShA, PSSh, PSShA, PFKA	0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90; 1,00; 1,50; 2,00; 3,00; 5,00	10^{13}-10^{14}	15-24	
		0,15 y el mismo espesor		18-35	
Micanita de moldear prensada	FMG, FMGA, FFG, FFGA, FSG, FSGA	0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90; 1,00; 1,50 y más	10^{13}-10^{14}	27-38 22-35 22-35	Las piezas electroaislantes de perfil complejo; conos, cilindros, manguitos de colector, etc., los cuales se elaboran por prensado en caliente de distintos prefabricados de micanita moldeable
	FMSh, FMShA, FFSh, FFShA, FSSh, FSShA	El mismo espesor	10^{13}-10^{14}	27-38 22-35 22-35	
	FMK, FFK, FFKA	0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50	10^{13}-10^{15}	28-39	Lo mismo, pero en máquinas eléctricas confeccionadas resistentes al calentamiento (clase H)

Micanita flexible	GMS, GMCh, GFS, GFCh, GFK	0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50	10^{13}-10^{14}	22-29 19-25 18-24	Aislamiento de ranuras y entreespiras, y también juntas aislantes flexibles en las máquinas eléctricas de alto voltaje
Lo mismo, pero encolada con papel	GMSO, GFSO, GMChO, GFChO	0,20; 0,25; 0,30; 0,40; 0;50	10^{13}-10^{14}	15-21	Lo mismo
Micanita vítrea flexible	G_1FG1, G_1FK1, G_2FK1, G_2FE1	0,22; 0,30; 0,50 0,20; 0,22; 0,25; 0;30	10^{12}-10^{13}	9-17	La micanita vítrea flexible posee elevada resistencia mecánica
		0,35; 0,40; 0,50; 0,60	10^{12}-10^{14}	10-18	Se usa como aislamiento flexible de mica en las máquinas y aparatos eléctricos
	G_2FGII, G_2FKII, G_2FEII	0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,50; 0,60	10^{12}-10^{13}	8-16	Se utiliza como aislamiento de mica flexible en las máquinas y aparatos eléctricos
Micafolio	MFP-T, MFP-S, MFK-T, MFK-S	0,20; 0,25; 0,30	10^{12}-10^{13}	13-15	Aislamiento de ranuras y entreespiras en las máquinas eléctricas de alto voltaje (casquillos, tubos, juntas, etc.)
	MMK-T, MMK-S	0,20; 0,25; 0,30	10^{13}-10^{14}	16-18	
	MMG-B, MMG-T, MMG-S, MMSh-B	0,15; 0,20; 0,25; 0,30	10^{12}-10^{13}	16-18	
Cinta de mica	LFCh-BB	0,10; 0,13; 0,17	10^{12}-10^{13}	12-20	La cinta de mica de secado al aire, se usa para aislar las espigas y secciones de los devanados de las máquinas eléctricas de alto voltaje
	LFS-BB	0,10; 0,13	10^{12}-10^{13}	14-22	
	LFCh-TB	0,14; 0,17	10^{12}-10^{13}	12-14	
	LFS-TB	0,10; 0,13; 0,15; 0,17	10^{12}-10^{13}	12-14	
	LFS-TT	0,10; 0,13; 0,15; 0;17; 0,21	10^{12}-10^{13}	13-15	
	LMCh-BB	0,10; 0,13		12-13	
	LMS-BB	0,17	10^{12}-10^{13}	13-15	
	LMCh-TB	0,15; 0,17	10^{12}-10^{13}	9-11	
			10^{12}-10^{13}	16-22	
				13-18	
				12-16	
				16-18	

Continuación de la tabla 24

Denominación	Tipo del material	Espesor del material, mm	Características eléctricas a 20° C		Característica general y campo de aplicación
			ρ_v, ohm·cm	E_r, kV/mm	
	LFK-T	0,8; 0,13; 0,15	10^{13}-10^{14}	12-15	La cinta de mica de secado al horno, aislamiento flexible y resistente al calentamiento, se usa para aislar las espigas y secciones de las máquinas eléctricas
	LFK-TT	0,10; 0,13; 0,15	10^{12}-10^{13}	11-12	
	LFK-TS	0,17; 0,21	10^{12}-10^{13}	9-11	
	LMR-SS	0,13	10^{12}-10^{13}	12-14	
	LMK-TT, LMK-TS	0,13; 0,15	10^{12}-10^{13}	12-14	
Seda de mica	LSMShB,	0,14; 0,17	10^{13}-10^{14}	13-15	El aislamiento de secciones y de las partes frontales en las máquinas eléctricas de alto voltaje
	LChMShC, LSFShB, LChFShB	0,14; 0,17	10^{12}-10^{14}	12-14	
Cinta ¿ancha de mica	LPPChM, LPPSM	0,4; 0,5	10^{11}-10^{13}	10-13	El material flexible de alta resistencia a la tracción. Se usa para el aislamiento entre las fases y de ranura (casquillos blandos)
	LPBChM, LPBSM	0,3	10^{11}-10^{12}	10-13	
	LPPChF, LPPSF	0,4; 0,5	10^{11}-10^{12}	10-12	Las piezas resistentes al calentamiento y al arco (placas, armazones, bobinas, cuadros de bornes, etc.)
	LPChF, LPBSF	0,3	10^{11}-10^{12}	10-12	
Micalex	—	4; 5; 6; 8; 10; 12; 13; 15; 17; 20; 22; 25	10^{12}-10^{14}	13-18	

es de 2,5 a 3 g/cm , la termorresistencia (por Martens) es de 300 a 350° C. La permeabilidad dieléctrica del micalex $\varepsilon = 7 - 8$. La temperatura máxima admisible, para que los artículos de micalex funcionen prolongadamente, es de 300° C.

Las características fundamentales de los materiales de mica se exhiben en la tabla 24. Las demás características son las siguientes.

En los materiales de micanita los valores del tangente del ángulo de pérdidas dieléctricas se mantienen en los siguientes niveles: de 0,02 a 0,06 es el de las micanitas, de 0,04 a 0,09 es el de las cintas de mica, y de 0,05 a 0,06 es el de micalex.

Los valores del límite de resistencia a la tracción para el micafolio es de 1,5 a 3,2 kgf/mm^2; para el micafolio vítreo es de 4 a 5 kgf/mm^2; para las cintas de mica es de 1,8 a 3,0 kgf/mm^2; para la seda de mica es de 3,0 a 4,0 kgf/mm^2; para la cinta ancha de mica es de 4,0 a 4,2 kgf/mm^2; para la cinta vítrea de mica es de 6 a 8 kgf/mm^2.

§ 21. *Materiales electroaislantes de «sliudinita»**

Al extraer la mica natural y al fabricar materiales electroaislantes de mica exfoliada se forma gran cantidad de residuos. Esta utilización de los residuos hizo posible la fabricación de nuevos materiales electroaislantes: las «sliudinitas». Estos materiales «sliudinita» se obtienen de papel de «sliudinita», previamente tratados con cualquier sustancia aglutinante (resinas, lacas).

De papel de mica, aglutinándolo con barnices o resinas aglutinantes y prensándolo posteriormente en caliente, se obtienen materiales electroaislantes de «sliudinita» duros y flexibles. Las resinas aglutinantes se pueden introducir directamente en la masa líquida de mica, suspensión de mica.

El surtido de materiales electroaislantes de «sliudinita» es el mismo que el de los materiales de mica exfoliada.

Los materiales fundamentales de «sliudinita» son los siguientes.

La «sliudinita» para colectores es un material duro en hojas, de espesor calibrado. Se obtiene mediante prensado en caliente de hojas de papel de «sliudinita» tratado con barniz de goma laca. La «sliudinita» para colectores se fabrica en forma de hojas con dimensiones desde 215 por 400 mm hasta 400 por 600 mm y de un solo tipo KSSh. Las letras en la denominación de los tipos significan: K, para colectores; S, «sliudinita»; Sh, con barniz de goma laca.

La «sliudinita» para juntas es un material duro en hojas, se obtiene por prensado en caliente de hojas de papel de «sliudinita» impregnadas con barnices aglutinantes. La «sliudinita» para juntas se elabora en hojas con dimensiones de 200 por 400 mm. De este

*) Sliudinita» es el nombre comercial de materiales obtenidos de mica pulverizada. (N. del T.)

material se elaboran distintos tipos de juntas y arandelas duras para máquinas y aparatos eléctricos con sobrecalentamiento normal y elevado (en este caso con aglutinante silicoorgánico).

Las letras en la denominación de los tipos de «sliudinita» para juntas significan: P, para juntas; S, «sliudinita»; G, con aglutinante gliftálico; Sh, con aglutinante de goma laca; K, con aglutinante silicoorgánico, E, con resina de epoxi-fenol-formaldehido.

La «sliudinita» vítrea moldeable es un material duro en hojas, en estado normal, se moldea en caliente. Se fabrica aglutinando papel de «sliudinita» con soportes de tejido de lana.

La «sliudinita» vítrea moldeable y resistente al calentamiento es un material duro en hojas y se moldea en caliente. Este material se fabrica aglutinando hojas de papel de «sliudinita» con tejido de lana vítrea, utilizando barnices silicoorgánicos resistentes al calentamiento. El material se elabora en hojas con dimensiones de 250 por 350 mm y mayores. Posee elevada resistencia a la tracción.

Las letras en la denominación de los tipos de «sliudinita» vítrea significan: F, moldeable; S, «sliudinita» vítrea; las cifras 25 y 40 indican el espesor del tejido de lana vítrea en micras; K, barniz silicoorgánico; N, resistente al calentamiento.

La «sliudinita» flexible es un material en hojas, flexible a temperatura ambiente; se fabrica aglutinando hojas de papel de «sliudinita», con posterior prensado en caliente. En calidad de aglutinante se usa barniz polietérico o silicoorgánico. La mayoría de los tipos de «sliudinita» flexible se encola por uno o ambos lados con tejido de lana vítrea.

La «sliudinita» flexible se ebalora en hojas con dimension es de 500 por 800 mm (no encolada con tejido de lana vítrea) y de 500 por 600 mm (encolada con tejido de lana vítrea).

Las letras y cifras en la denominación de los tipos de «sliudinita» flexible significan: S, «sliudinita»; G, flexible no encolado; G_1, flexible, encolado con tejido de lana vítrea por uno de los lados; G_2, flexible, encolado con tejido de lana vítrea por ambos lados; P, con barniz polietérico; K, con barniz silicoorgánico.

La «sliudinita» vítrea flexible (resistente al calentamiento) es un material en hojas, flexible a temperatura ambiente, se fabrica aglutinando una o más hojas de papel de «sliudinita» con tejido de lana o malla vítreas y utilizando barnices silicoorgánicos. Después de aglutinado, el material se somete al prensado en caliente. Se encola por uno o ambos lados con tejido de lana de vidrio con el fin de aumentar la resistencia mecánica.

La «sliudinita» vítrea flexible y resistente al calentamiento se elabora en hojas con dimensiones de 250 por 350 mm (no menores).

Las letras y cifras en la denominación de los tipos de la «sliudinita» flexible y resistente al calentamiento significan: S, «sliudinita» vítrea; G, flexible; K, con barniz silicoorgánico; N, resistente al calentamiento; las cifras 25 y 40 indican el espesor del tejido de lana vítrea utilizada (en micras).

El «sliudinita folio» es un material en forma de rollos u hojas, flexible en caliente, se fabrica aglutinando una o unas cuantas hojas de papel de «sliudinita» con papel telefónico de 0,05 mm de espesor, que se utiliza como soporte flexible.

El campo de aplicación del «sliudinitafolio» es el mismo que el del micafolio basado en mica exfoliada. El «sliudinitafolio» se elabora en rollos con anchos de 320 a 400 mm.

Las letras en la denominación de los tipos de «sliudinitafolio» significan: S, «sliudinitafolio»; S, (en el segundo lugar), basada en papel de «sliudinita»; S (en el tercer lugar), con aglutinante claro (mezcla de barnices TGF-8 y 420); P, con una subcapa de celulosa.

La «cinta de «sliudinita» es un material resistente al calentamiento en forma de rollos, flexible a temperatura ambiente; se compone de papel de «sliudinita» encolado por uno o ambos lados con malla vítrea o tejido de lana de vidrio.

Las cintas de «sliudinita» se elaboran en forma de rodillos con anchos de 15, 20, 23, 25, 30 y 35 mm, y con menor frecuencia, en forma de rollos.

Las letras en la denominación de los tipos de cintas de «sliudinita» significan: L, cinta; S, «sliudinita»; K, con barniz silicoorgánico; T, encolada por uno de los lados con tejido de lana vítrea; TT, encolada por ambos lados con tejido de lana vítrea; SS, encolada por los dos lados con malla vítrea.

La cinta de «sliudinita» vítrea y de papel es un material en forma de rollos, flexible a temperatura ambiente; se compone de papel de «sliudinita», de malla vítrea y papel de mica, aglutinados e impregnados con barniz epoxipolietérico tipo PE-935. Superficialmente la cinta se recubre con una capa pegajosa del compuesto PD-4. La cinta se elabora en rodillos con anchos de 15, 20, 23, 25, 30 mm. Las letras en la denominación de los tipos de cintas significan: L_2, cinta bilateral; S, «sliudinita»; S (en el tercer lugar), con malla vítrea; B, con papel de mica; PE, con barniz epoxipolietérico; K, recubierta con una capa de compuesto PD-4.

El cartón eléctrico de «sliudinita» y de vidrio es un material en hojas, flexible a temperatura ambiente. Se fabrica aglutinando papel de «sliudinita», cartón eléctrico y tejido de lana vítrea con barniz. Se elabora en hojas con dimensiones de 500 por 650 mm.

Las letras en la denominación de los tipos significan: S, «sliudinita»; S, tejido de lana vítrea; K, cartón eléctrico; P, para el aislamiento de ranuras de las máquinas eléctricas.

Las características fundamentales de los materiales electroaislantes de «sliudinita» se exhiben en la tabla 25.

Tabla 25

Características fundamentales de los materiales de «sliudinita»

Denominación del material	Tipo del material	Espesor nominal, mm	Características eléctricas a 20° C		Campo de aplicación
			ρ_v, ohm·cm	E_r, kV/mm	
«Sliudinita» de colector	KSSh	0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2**	10^{12}-10^{14}	20-26	Juntas electroaislantes entre las delgas en los colectores de las máquinas eléctricas
«Sliudinita» para juntas	PSK; PSG; PSSh; PSE	0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0	10^{12}-10^{14}	20-24	Diversos tipos de juntas duras electroaislantes en las máquinas y aparatos eléctricos
«Sliudinita» vítrea de moldear, resistente al calentamiento	FS25KN FS40KN	0,10; 0,12 0,10; 0,15; 0,20	10^{13}-10^{14}	25-32	Piezas electroaislantes de perfil complejo fabricadas por prensado en caliente. Se usan en las máquinas eléctricas con aislamiento de clase H
«Sliudinita» flexible	G_1SP; G_1SK G_2SP; G_2SK	0,10; 0,15 0,15; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50 0,20; 0,25; 0,30; 0,40; 0,50	10^{13}-10^{14}	18-20 16-22 26—28	Separadores (juntas) flexibles y aislamiento de ranura en las máquinas eléctricas con aislamiento de clase B (G, SP_1; G_1SP; G_2SP) y en las máquinas con aislamiento de clase E (G_1SK; G_2SK)

«Sliudinita» vítrea flexible y resistente al calentamiento	GS25KN GS40KN	0,10; 0,12 0,10; 0,15	10^{13}-10^{14}	20-27	Se usa como separadores (juntas) flexibles y como aislamiento de ranura en las máquinas eléctricas ejecutadas resistentes al calentamiento (hasta 250° C)
«Sliudinita» de folio	SSSP	0,10; 0,12; 0,15	10^{12}-10^{13}	8-12	Aislamiento para las espigas de rotores en los motores ejecutados no resistentes a la humedad
Cinta de «sliudinita»	LSK-T; LSK-S LSK-TT; LSK-SS	0,11 0,15; 0,17	10^{12}-10^{14}	12-14 8-10	La misma aplicación que la cinta de mica desmenuzada, pero en máquinas eléctricas de elevada resistencia al calentamiento (clase H)
Cinta de «sliudinita» vítrea y de papel	L_2SSB-PEK	0,15	10^{12}-10^{13}	10-18	Aislamiento para cuerpos (estatores) en máquinas eléctricas de voltajes hasta 6 kV
Cartón eléctrico de «sliudinita» vítrea	SSK-P	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50	10^{13}-10^{14}	15-22	Lo mismo, pero en máquinas ejecutadas resistentes al calentamiento (clase H)

* Se aportan los valores promedios de la rigidez eléctrica ($E_{r.promedio}$). La rigidez eléctrica de los materiales de «sliudinita» puede ser en algunos puntos de menor valor en 25-35% que los aportados.

** Por acuerdo entre ambas partes se permite la fabricación de «sliudinita» para colectores con espesor de más de 1,2 mm.

22. *Materiales electroaislantes de micaplástico*

Todos los materiales de micaplástico se elaboran aglutinando y prensando hojas de papel de micaplástico. Este último se fabrica de los residuos no industriales de mica al triturar las partículas por el método de onda elástica. En comparación con los materiales de «sliudinita», los de micaplástico son de mayor resistencia mecánica, pero de menor homogeneidad, puesto que se componen de partículas mayores que las partículas de las «sliudinitas». Los materiales electroaislantes fundamentales de micaplástico son los siguientes.

El micaplástico para colectores es un material en hojas, duro, de espesor calibrado. Se elabora prensando en caliente hojas de papel de micaplástico, previamente recubiertas con una capa de sustancia aglutinante. Se elabora en hojas con dimensiones de 215 por 465 mm (no menores). Las letras en la denominación de los tipos del material significan: K, para colectores; S, de micaplástico; F, basado en mica flogopita; Sh, con barniz de goma laca; T, con aglutinante termoestable; S, (en el segundo lugar), especial; I y II, de reducida retracción volumétrica.

El micaplástico para juntas es un material en hojas, duro, se elabora prensando en caliente hojas de papel de micaplástico, recubiertas previamente con una capa de sustancia aglutinante. Se fabrica en hojas de 520 por 850 mm (no mayores). Las letras en la denominación de los tipos del material significan: P, para juntas; S, de micaplástico; F, basado en mica flogopita; Sh, con barniz de goma laca; T, con aglutinante termoestable; A, rebajado el contenido de sustancia aglutinante (pegante).

El micaplástico moldeable es un material prensado en hojas, duro en estado de ambiente, susceptible de moldeado en caliente. Se elabora en hojas desde 200 por 400 mm hasta 520 por 820 mm. Las letras en la denominación de los tipos del material significan: F, moldeable; S, de micaplástico; F, basado en mica flogopita; Sh, con barniz de goma laca; A, rebajado el contenido de sustancia aglutinante.

El micaplástico flexible es un material prensado, en hojas, flexible a temperatura ambiente. Se fabrica de un solo tipo GSFS. En la denominación del tipo las letras significan: G, flexible; S, de micaplástico; F, basado en mica flogopita; S, (en el segundo lugar), con barniz claro oleogliftálico. Se elabora en hojas desde 200 por 400 mm hasta 520 por 820 mm.

El micaplástico vítreo flexible es un material prensado, en hojas, flexible a temperatura ambiente; se compone de unas cuantas capas de papel de micaplástico encoladas por uno de los lados con tejido de lana vítrea y por el otro, con una malla vítrea, y también encoladas por ambos lados con malla vítrea. El material se fabrica en hojas desde 250 por 500 mm hasta 500 por 850 mm. En

Tabla 26

Características fundamentales de los materiales de plástico de mica

Denominación del material	Tipo del material	Espesor nominal, mm	Características eléctricas a 20° C		Campo de aplicación
			ρ_v, ohm·cm	E_r, kV/mm	
Plástico de mica para colectores	KSFShS, KSFTS, KSFSh	0,4; 0,5; 0,6	10^{13}-10^{14}	20-22	Separadores (juntas) electroaislantes entre las delgas en los colectores de las máquinas eléctricas
	KSFSh-I	0,7; 0,8; 0,9; 1,0	10^{13}-10^{15}	20-25	
	KSFSh-II, KSFT	1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 y más			
Plástico de mica para juntas	PSFShA, PSFT	0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,5; 2,0	10^{13}-10^{15}	20-35	Diversos tipos de juntas duras electroaislantes en las máquinas y aparatos eléctricos
	PSFSh	Las mismas dimensiones y 3,0; 5,0			
Plástico de mica de moldear	FSFShA	0,20; 0,25; 0,30; 0,35	10^{13}-10^{15}	27-35	Manguitos de colector de hasta 250 mm de diámetro y otras piezas de perfil complejo, que se fabrican moldeando en caliente
Plástico de mica flexible	GSFS	0,2	10^{12}-10^{14}	23-25	Juntas electroaislantes flexibles y aislamiento de ranura en las máquinas eléctricas
Plástico de mica vítreo flexible	GIT-TS, GIT-SS	0,30; 0,35	10^{12}-10^{14}	10-18	Lo mismo, pero en las máquinas eléctricas con aislamiento de las clases: B (tipos GIT y GIP) y C (tipo GIK)
	GIP-TS, GIP-SS, GIK-TS, GIK-SS	0,40; 0,45	10^{12}-10^{14}	7,7-16	
Plástico de mica-folio	SFG, SFG-P	0,15	10^{12}-10^{14}	22-26	Aislamiento de espigas de los rotores, y demás, en las máquinas eléctricas de ejecución no resistentes a la humedad
	SFG-B, SFG-BP	0,15; 0,20; 0,30	10^{12}-10^{13}	20-22	
Cinta de plásico de mica*	SLFCh	0,11; 0,13	10^{12}-10^{13}	12-22	Aislamiento de espiras y de estator (conjuntamente con cinta de mica) para voltajes de hasta 6 kV
Cinta de plástico de mica vítreo, resistente al calentamiento	SFK-T	0,08; 0,10; 0,12	10^{13}-10^{14}	15-18	Aislamiento de espiras y de estator en las máquinas eléctricas para voltajes de hasta 6 kV
	SFK-TS				
	SFK-TT	0,13; 0,17	10^{13}-10^{14}	15-18	

* El límite de resistencia a la tracción de la cinta de plástico de mica es $\sigma_{tr} = 2,2 - 2,6$ kgf/cm².

la denominación de los tipos de micaplástico vítreo las letras significan: G, flexible; I, mica flogopita integrada; T, con barniz trietilengliftálico; P, con barniz polieterepoxídico; K, con barniz silicoorgánico; TS, encolado por un lado con tejido de lana vítrea y por el otro, con malla vítrea; SS, encolado por ambos lados con malla vítrea.

El micaplastafolio es un material en hojas o en forma de rollos, flexible y moldeable en caliente; se obtiene aglutinando unas cuantas hojas de papel de micaplástico y encolándolo por uno de los lados con papel telefónico (0,05 mm) o sin encolar. La letras en la denominación de los tipos de micaplastafolio significan: S, micaplastafolio; F, basado en mica flogopita; G, con barniz gliftálico; B, encolado con papel telefónico (por un lado); P, elevado contenido de aglutinante.

La cinta de micaplástico es un material en forma de rollos, flexible a temperatura ambiente; se compone de papel de micaplástico encolado por ambos lados con papel de mica. La cinta de micaplástico se fabrica en rollos de 12, 15, 17, 24, 30 y 34 mm de ancho. Las letras en la denominación del tipo de material significan: SL, cinta de micaplástico; F, basada en mica flogopita; Ch, con barniz negro oleobituminoso.

La cinta de micaplástico vítrea resistente al calentamiento es un material flexible a temperatura ambiente, se compone de una capa de papel de micaplástico encolada por uno o ambos lados con tejido de lana vítrea o malla vítrea, utilizando para encolar barniz silicoorgánico. El material se fabrica en rollos de 15, 20, 25, 30 y 35 mm de ancho. Las letras en la denominación del tipo de material significan: S, cinta de micaplástico vítrea; F, basada en mica flogopita; K, con barniz silicoorgánico; T, encolado con tejido de lana vítrea por un lado; TT, encolado por ambos lados con tejido de lana vítrea; TS, encolado por un lado con tejido de lana vítrea y por el otro, con malla vítrea.

Las características fundamentales de los materiales de micaplástico se exhiben en la tabla 26.

§ 23. *Vidrios y materiales de electrocerámica*

Los materiales de electrocerámica son cuerpos sólidos artificiales. Se obtienen de masas cerámicas iniciales mediante tratamiento térmico (calcinación), estas masas se componen de distintos minerales (arcilla, talco, etc.) y otras sustancias, tomadas en determinadas proporciones. De las masas cerámicas se fabrican distintos artículos electroaislantes: aisladores, condensadores, etc.

Los productos de electrocerámica se someten a tratamiento térmico a temperaturas elevadas (calcinación 1280—1450° C), durante el cual entre las partículas de las sustancias iniciales se efectúan procesos físico-químicos complejos, formándose nuevas sustancias vítreas y de estructura cristalina.

Tabla 27

Características fundamentales de los materiales aisladores de electrocerámica

Material	Densidad, g/cm³	Características mecánicas			Coeficiente de dilatación lineal térmica, 1/°C	Características eléctricas a 20° C			
		Límite de resistencia a la tracción, kgf/cm²	Límite de resistencia a la flexión estática, kgf/cm²	Resiliencia específica, $\frac{\text{kgf}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^2}$		ρ_v, ohm·cm	ε	tg δ a 50 Hz	E_r, kV/mm
Porcelana eléctrica	2,2-2,3	300-350	600-900	1,7-1,8	$(3,5 \div 4,0) \times 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{12} - 4 \cdot 10^{13}$	6-7	0,022-0,035	28-35
Porcelana eléctrica finamente dispersa MK-4	2,3-2,4	400-549	854-1000	1,8-1,88	$(4,0 \div 4,5) \times 10^{-6}$	4×10^{13}	6,6-7,2	0,015-0,030	35-38
Ultraporcelana (UF-46 y UF-53)	3,2-3,4	500-650	2000-2500	2,5-2,8	$(5,0 \div 5,5) \times 10^{6}$	$10^{14} - 10^{15}$	8,0-8,8	0,0005-0,001	30-36
Esteatita (SK-1; TK-21)	2,9-3,2	600-700	1700-1900	3,0-3,5	$(6 \div 6,4) \times 10^{-6}$	$10^{15} - 10^{16}$	6,5-7,0	0,001-0,003	40-42
Cordierita	2,2-2,3	—	500-750	2,0-3,0	$(2,0 \div 3,3) \times 10^{-6}$	$10^{12} - 10^{13}$	5-6	—	4,5-6

Observaciones:

1. Los valores exibidos de las características mecánicas se refieren a las muestras sin esmalte. Los valores de las características mecánicas de las muestras de porcelana y esteatita esmaltadas superan los exibidos en un término medio de 10-15% (cuando los esmaltes se han elegido correctamente).
2. Los valores exibidos del coeficiente de dilatación lineal corresponden al intervalo de temperaturas de 20 a 100° C.
3. Los esteatitas, en comparación con la porcelana y la cordierita, son de menor resistencia a cambios bruscos de temperatura, o sea son menos termoestables.
4. La cerámica de cordierita es notablemente higroscópica (7-15%), pero se destaca por su gran estabilidad térmica, y también por su resistencia al arco eléctrico, por eso se usa principalmente en aparatos extintores de arcos y en dispositivos calentadores.

Tabla 28

Composición y carasterísticas fundamentales de los materiales de electrocerámica para condensadores

Tipo	Composición química	Densidad, g/cm³	Coeficiente de dilatación lineal térmica, 1/°C	Límite de resistencia a la flexión estática, kgf/cm²	Características eléctricas a 20° C				
					ε a 1-5 MHz	KTε a 1-5 MHz 1/°C	ρ_v a 100° C, ohm·cm	E_r a tensión contínua, kV/mm	tg δ a 1-5 MHz
C-15	$Ca\,(Sn_{0,98} \times Ti_{0,02})\,O_3$	4,8	8×10^{-6}	800-900	14-16	$+(30 \pm 20) \times 10^{-6}$	10^{10}-10^{11}	10-12	$(3—4) \times 10^{-4}$
T-20	$Zr \cdot TiO_4$	4,3	6×10^{-6}	900-1000	20-25	$-(50 \pm 20) \times 10^{-6}$	10^{10}-10^{11}	8-10	$(3—4) \times 10^{-4}$
T-80	$(Ti_{0,96} \times Zr_{0,04})\,O_4$	3,8	8×10^{-6}	1200-1500	70-80	$-(700 \pm 100) \times 10^{-6}$	10^{9}-10^{10}	10-12	$(4—5) \times 10^{-4}$
T-150	$Ca\,(Ti_{0,99} \times Zr_{0,01})\,O_3$	3,9	9×10^{-6}	1400-1800	140-150	$-(300 \pm 200) \times 10^{-6}$	10^{10}-10^{11}	10-12	$(3—4) \times 10^{-4}$

Los materiales de electrocerámica se dividen en tres grupos: materiales de los que se fabrican aisladores (cerámica para aisladores); materiales de los que se fabrican condensadores (cerámica para condensadores); materiales de cerámica ferroeléctrica, que poseen, fuera de lo normal, valores elevados de permeabilidad dieléctrica (ε = 1000-7500) y también poseen efecto piezoeléctrico. Los materiales de cerámica ferroeléctrica se usan principalmente en la radiotecnia.

Todos los materiales de electrocerámica se distinguen por su alta resistencia al calentamiento, estabilidad a los efectos atmosféricos, a las chispas y arco eléctrico; poseen buenas cualidades electroaislantes y suficientemente alta resistencia mecánica. En la tabla 27 se exhiben las características de materiales de electrocerámica ampliamente usados, de los cuales se fabrican aisladores de diferentes tipos. En la tabla 28 se exhiben las composiciones y características de algunos materiales electrocerámicos, de los que se fabrican condensadores.

Muchos tipos de aisladores igualmente que de materiales de electrocerámica se fabrican también de vidrio. Para la fabricación de aisladores se usan vidrios alcalinos y de baja alcalinidad. La mayoría de los tipos de aisladores de alto voltaje se fabrican de vidrio templado. Los aisladores de vidrio templado por su resistencia mecánica tienen ventajas ante los aisladores de porcelana. En la tabla 29 se exhibe la composición química de los vidrios para aisladores, en la tabla 30 se exhiben las características fundamentales de los vidrios para aisladores.

Tabla 29

Composición química de los vidrios aisladores

Oxidos	Composición química de los vidrios, %		
	de baja alcalinidad 13 v	de la fábrica alcalina de Lvov	de la fábrica alcalina «Dzerzhinski»
SiO_2	63,5	74,65	71,9
Al_2O_3	15,5	—	1,39
Fe_2O_3	1,2	0,6	—
CaO	13,0	8,95	7,79
MgO	4,0	—	3,28
$Na_2O + K_2O$	2,0	15,8	14,87
F	2,0	—	—

Tabla 30

Características fundamentales de los vidrios aisladores

Denominación del vidrio	Densidad, g/cm³	Límite de resistencia a la flexión estática, kgf/cm²	Coeficiente de dilatación lineal, 1/°C	Temperatura de reblandecimiento, °C	Resistividad volumétrica a 20° C, ohm·cm	Tangente del ángulo 20° C y 50 Hz	Rigidez dieléctrica a 20° C, kV/mm
De baja alcalinidad 13 v (no templado)	2,55	650	$5 \cdot 10^{-6}$	700	$4 \cdot 10^{14}$	0,02	48
De baja alcalinidad 13 v (templado)	2,60	2500	—	—	$2 \cdot 10^{14}$	0,03	48
Alcalino (no templado)	2,5	400	$9 \cdot 10^{-6}$	550	$9 \cdot 10^{12}$	0,04	30
Alcalino (templado)	2,5	2000	—	—	$3 \cdot 10^{12}$	0,06	30

Observación. Para expresar la densidad y el límite de resistencia a la flexión en SI, se debe multiplicar los valores de la tabla por 10^3 y 10^5, respectivamente.

Capítulo II

Construcciones electroaislantes

§ 24. *Información general sobre aisladores*

Los aisladores son construcciones electroaislantes de cerámica o vidrio, reforzadas con armadura metálica. En las instalaciones eléctricas los aisladores se usan para garantizar el aislamiento eléctrico y la unión mecánica entre las partes que se encuentran bajo diferentes potenciales. La armadura metálica (bridas, casquetes, espigas, etc.) se fijan en los aisladores mediante distintos compuestos (compuestos de cemento y arena, etc.).

La armadura metálica sirve para fijar los aisladores sobre estructuras de apoyo de las líneas de transporte de energía eléctrica, sobre los tanques de transformadores, interruptores de aceite; también sirven para fijar los cables y otras piezas conductoras sobre los mismos aisladores.

El material principal de cerámica para la fabricación de aisladores es la porcelana electrotécnica* (véase § 23). Algunos tipos de aisladores se fabrican de esteatita y vidrio. La forma de los aisladores se elige de tal modo que las líneas de fuerza del campo eléctrico dentro y por la superficie del aislador se distribuyan con la mayor homogeneidad, lo cual garantiza al aislador una máxima rigidez dieléctrica.

Los aisladores de alto voltaje se fabrican para voltajes de 1, 3, 6, 10, 15, 35, 110, 150, 220, 330 y 500 kV. Los aisladores de bajo voltaje se emplean en las instalaciones electrotécnicas hasta 500 V, y para instalaciones de comunicaciones por cable. Por su construcción los aisladores se dividen en aisladores de espiga, de suspensión, de soporte, de soporte y espiga, de soporte y vástago, pasamuros y de entrada (bushing).

[1]) Algunas veces lo llaman porcelana de alto voltaje.

§ 25. *Aisladores de espiga*

Los aisladores de espiga para bajo voltaje se componen de un solo elemento de porcelana (véanse las figs. 15 y 16). Los aisladores de espiga para altos voltajes se componen de uno o dos elementos

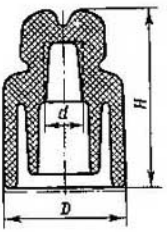


Fig. 15. Aislador de espiga para bajo voltaje, tipo ShN-1

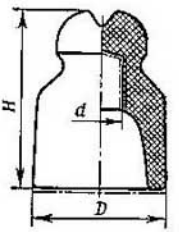


Fig. 16. Aislador de espiga para bajo voltaje, tipo ShN-1M

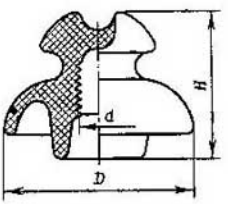


Fig. 17. Aislador de espiga, tipos ShF6-A y ShF10-A

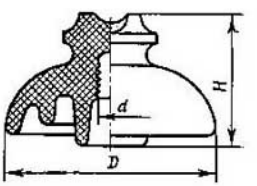


Fig. 18. Aislador de espiga, tipo ShF10-B

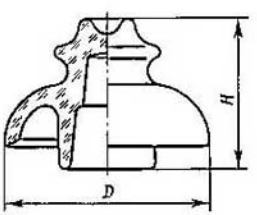


Fig. 19. Aislador de espiga y de cristal, tipos ShS-S-10 y ShSSL-10

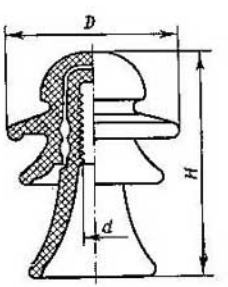


Fig. 20. Aislador de espiga, tipos ShF20-A y ShF35-A

de porcelana (véanse las figs. 17, 18, 20, 21). Los elementos se unen entre sí rígidamente mediante compuesto de cemento y arena. Los aisladores de espiga se montan en las espigas con que se fijan en las traviesas de los apoyos. Todos los aisladores de espiga garantizan una fijación rígida de los conductores en los apoyos. En las tablas 31 y 32 se exhiben las dimensiones y características fundamentales de los aisladores de espiga.

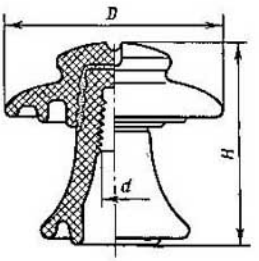


Fig. 21. Aislador de espiga, tipos ShF20-B y ShF35-B

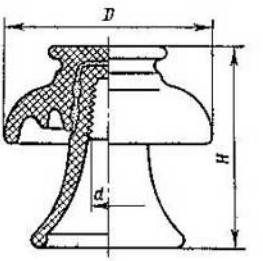


Fig. 22. Aislador de espiga, tipo ShF35-V

Tabla 31

Dimensiones y características fundamentales de los aisladores de espiga para bajo voltaje

Tipo de aislador	Número de la figura	Dimensiones, mm			Material	Esfuerzo mínimo de rotura cortante de la cabeza, kgf	Campo de aplicación
		H	*D*	*d*			
ShFN-1	15*	98	88	23	Porcelana	1000	Los aisladores se usan en líneas aéreas para voltajes de hasta 660 V de corriente alterna y de hasta 440 V de corriente continua
ShFN-2	15	78	72	23	»	800	
ShFN-3	15	61	58	19	»	300	
ShFN-4	15	48	52	17	»	150	
ShN-1	15	108	75	22	»	800	
ShN-1M	16	108	80	26,7	»	800	
TSM-2	16*	108	83	27,0	Vidrio	800	

* La configuración real de los aisladores tipo ShFN y TSM-2 se diferencia algo de la mostrada en las figs. 15 y 16 en detalles no considerables.

Tabla 32

Dimensiones y características fundamentales de los aisladores de espiga para alto voltaje

Tipo de aislador	Número de la figura	Dimensiones fundamentales, mm			Voltajes, kV				Esfuerzo mínimo de rotura cortante de la cabeza, kgf	Material	Peso (no más de), kg
		H	*D*	*d*	nominal	de descarga seca	de descarga húmeda	de ruptura			
ShF6-A	17	94	126	28	6	50	28	65	1400	Porcelana	0,97
ShF10-A	17	110	147	32,5	10	60	34	78	1400	»	1,4
ShF10-B	18	120	212	32,5	10	75	40	100	1400	»	2,8
ShS-S-10	19	109	150	32	10	60	34	78	1400	Vidrio	1,35
ShSSL-10	19	110	155	32	10	60	34	78	1400	Vidrio-porcelana	1,35
ShF20-A	20	199	185	36	20	86	57	110	2000	Porcelana	3,4
ShF20-B	21	196	230	35	20	100	70	130	2000	»	4,85
ShF35-A	20	287	276	48	35	120	80	156	3000	»	10,1
ShF35-B	21	285	310	47	35	140	100	180	3000	»	11,0
ShF35-B	22	275	280	48	35	140	95	175	3000	»	9,5

§ *26. Aisladores de suspensión*

Estos aisladores garantizan una unión no rígida entre los cables y los apoyos de las líneas transmisoras de alto voltaje. El aislador de suspensión de disco se compone de un elemento de pocelana o

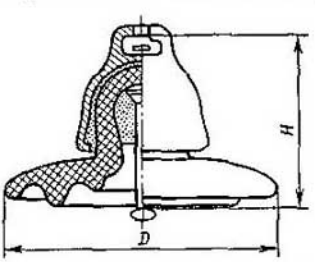


Fig. 23. Aislador de suspensión, tipos PF-6A; PF-6B; PF-6V; PF-16A; PF-20A

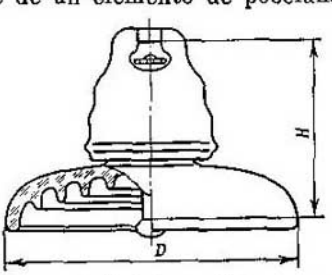


Fig. 24. Aisladores de suspensión, tipos PS-6A; PS-11; PS-16A; PS-16B; PS-22A; PS-30.

vidrio sobre el cual se fijan, mediante compuesto de cemento y arena, una campana galvanizada de fundición maleable. En la cavidad interna del aislador se fija un vástago galvanizado de acero.

Tabla 33

Dimensiones y características fundamentales de los aisladores de suspensión para líneas

Tipo de aislador	Número de la figura	Dimensiones fundamentales, mm		Recorrido mínimo de la fuga de corriente, mm	Voltajes, kV			Esfuerzo electromecánico garantizado, kgf	Material	Peso (no más de), kg	Campo de aplicación
		H	*D*		de descarga seca	de descarga húmeda	de ruptura				
PF-6A	23	167	270	285	60	32	110	6 000	Porcelana	6,5	En las cadenas de aisladores tensores y de suspensión de las líneas de transmisión para 35, 110, 150, 220 y 330 kV
PF-6B	23	140	270	280	60	32	110	6 000	»	6,0	
PF-6V	23	140	270	324	60	32	110	6 000	»	5,3	Lo mismo
PS-6A	24	130	255	255	58	37	90	6 000	Vidrio	4,1	Lo mismo
PS-11	24	170	290	320	65	40	90	11 000	Vidrio	6,6	Lo mismo y para 500 kV
PS-16A	24	180	320	360	66	42	100	16 000	Vidrio	9,0	En las cadenas de aisladores tensores y de suspensión de las líneas de transmisión de 330 y 500 kV
PS-16B	24	170	280	350	65	40	100	16 000	Vidrio	7,9	
PF-16A	23	173	280	365	68	40	125	16 000	Porcelana	8,6	
PF-20A	23	194	350	420	68	44	125	20 000	»	12,8	En las cadenas de aisladores tensores y de suspensión de las líneas de transmisión de 150 a 500 kV
PS-22A	24	200	320	390	80	50	110	22 000	Vidrio	10,8	
PS-30A	24	217	320	350	65	40	110	30 000	»	14,2	Lo mismo, pero en las líneas de transmisión de 500 y 750 kV
PR-3,5	25	198	250	455	110	48	110	5 000	Porcelana	10,4	En las cadenas de aisladores de suspensión de las líneas de transmisión de 35 a 330 kV en las regiones de atmósfera contaminada
NS-2	26	198	270	470	107	50	110	6 000	»	8,1	En las cadenas de aisladores tensores de las líneas de transmisión de 35 a 550 kV en las regiones de atmósfera contaminada
NZ-6	26	214	300	480	110	62	120	8 000	»	13,5	

Los aisladores de suspensión de disco se unen en cadena formando una unión de charnela entre el cable y la estructura de la línea transmisora eléctrica.

En las figuras 25 y 26 se muestran las construcciones de los aisladores de suspensión para las regiones con atmósfera contaminada.

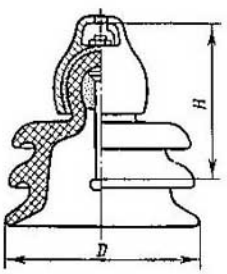


Fig. 25. Aislador de suspensión, tipo PR-3,5

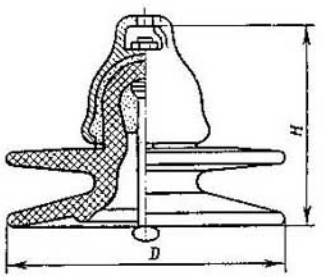


Fig. 26. Aislador de suspensión, tipos NS-2; NZ-6

Tienen rebordes (alas) salientes que aumentan la longitud al paso de la corriente de fugas por la superficie de los mismos. En la tabla 33 se exhiben las características fundamentales de los aisladores de suspensión para líneas con elementos aislantes de porcelana electrotécnica o de vidrio.

§ 27. *Aisladores de vástago para líneas*

Además de los aisladores de disco, para las líneas también se usan aisladores de vástago (figs. 27, 28). El uso de aisladores de vástago permite reducir el gasto de metal, que se usa como accesorios en los aisladores de suspensión de disco y al mismo tiempo permite aumentar la rigidez dieléctrica, ya que los aisladores de vástago no son susceptibles a la ruptura.

En la tabla 34 se dan las dimensiones y características fundamentales de los aisladores de vástago para líneas.

§ 28. *Aisladores de apoyo*

Los aisladores de apoyo (figs. 30—36) sirven para aislar y sujetar las barras y piezas conductoras de las instalaciones distribuidoras y de los aparatos eléctricos de alto voltaje (desconectadores y otros).

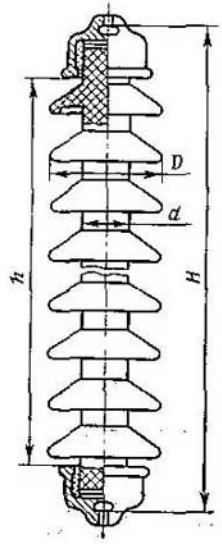


Fig. 27. Aislador de vástago, tipos SP-110/1,5 y SP-35

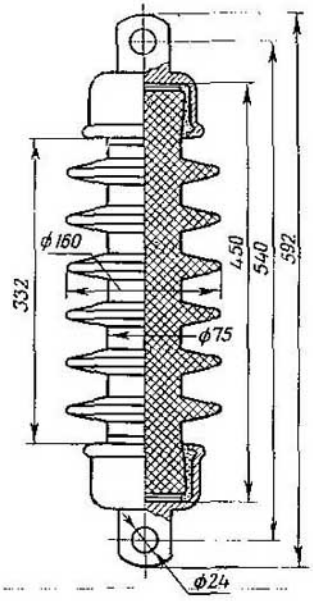


Fig. 28. Aislador de vástago seccionado, tipo SSF-27,5/5

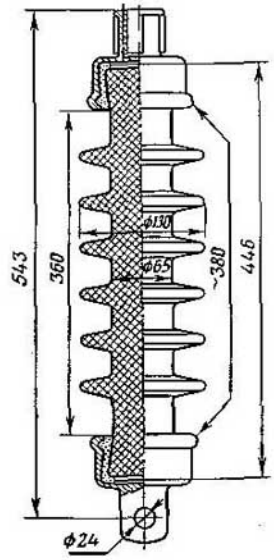


Fig. 29. Aislador de vástago fijador, tipo FSF-27,5/3,5

Tabla 34

Características fundamentales de los aisladores de espiga de porcelana

Tipo de aislador	Número de la figura	Voltaje nominal, kV	Dimensiones fundamentales, mm				Características eléctricas a 20° C		Esfuerzo mínimo de rotura a la tracción, kgf	Peso, kg	Campo de aplicación
			H	*h*	*D*	*d*	Voltaje de descarga seca, kV	Voltaje de descarga húmeda, kV			
SP-110/1,5	27	110	1270	14 salientes	150	75	420	310	2250	26,6	Tirantes en los interruptores al aire
SP-35	27	35	544	508	130	70	110	85	1200	9,2	Para apoyo de columnas de descargadores y de otros elementos de los equipos eléctricos
SSF-27,5/5	28	27,5	Ver las dimensiones en la fig. 28				140	100	5	26	Para el aislamiento de la red de contacto de los ferrocarriles con voltajes de 27,5 kV de corriente alterna y 3,3 kV de corriente continua
FSF-27,5/3,5	29	27,5	Ver las dimensiones en la fig. 29				135	100	3,5	25	

Observación. Los aisladores pueden funcionar a temperaturas dentro del intervalo de —60 a +50° C.

Los aisladores de apoyo (figs. 31—32) poseen bridas metálicas para poder fijarlos en las paredes y bases metálicas de los aparatos eléctricos. En la cabeza del elemento de porcelana se fija una caperuza, sobre la cual se sitúan la barra y demás piezas conductoras que deben aislarse de tierra. Otros tipos de aisladores de apoyo

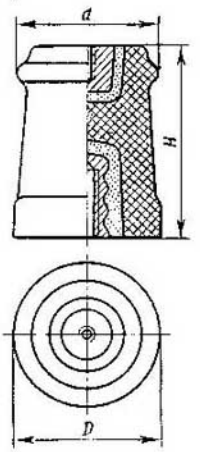


Fig. 30. Aislador de apoyo de pequeñas dimensiones para voltajes de 6 a 35 kV (con la armadura interna)

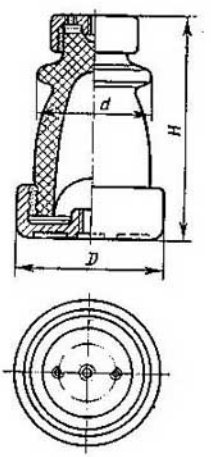


Fig. 31. Aislador de apoyo para voltajes de 6 a 20 kVт (con armadura exterior y brida redonda)

(figs. 30 y 34) no tienen bridas y caperuzas. En estos aisladores, en cavidades especiales del elemento de porcelana se fijan camisas perfiladas con orificios roscados. Mediante la camisa inferior el aislador de apoyo se fija a la pared o a la base metálica del aparato eléctrico. En la camisa superior se fijan la barra o cualquiera pieza conductora. La armadura metálica (bridas, caperuzas, etc.) se fijan en las partes de porcelana de los aisladores con un compuesto de cemento y arena. En la tabla 35 se exhiben las dimensiones y características fundamentales de los aisladores de apoyo para instalaciones internas.

Las letras en la denominación de los tipos de aisladores significan: O, de apoyo; F, de porcelana; R, con superficie de aleros. Las cifras 1, 6, 10, 20, 35 indican el voltaje nominal del aislador en kV, las cifras en el segundo lugar (375, 750, 1250, 2000, 3000, 4250, 6000) indican el esfuerzo mínimo de ruptura a la flexión (kgf), obtenido durante ensayos del aislador. Las letras indicativas situadas

Tabla 35

Dimensiones y características fundamentales de los aisladores de apoyo de porcelana para instalaciones interiores

Tipo de aislador	Número de la figura	Voltaje nominal, kV	Dimensiones fundamentales, mm					Esfuerzo mínimo de rotura a la flexión (no menos de), kgf	Peso por unidad no más de), kg	Configuración de la brida
			H	*D*	*d*	*A*	*K*			
OF-1-375	30	1	62	70	70	—	—	375	0,7	Con armadura interior
OF-6-375	30	6	100	77	60	—	—	375	1,12	Lo mismo
OF-6-375 kr	31	6	165	108	62	—	—	375	2,2	Redondo
OF-6-375 ov	32	6	165	—	—	160	135	375	2,5	Oval
OF-6-750 kr	31	6	185	130	82	—	—	750	4,43	Redondo
OF-6-750 ov	32	10	185	—	82	215	140	750	5,0	Oval
OF-10-375	30	10	120	82	68	—	—	375	1,5	Con armadura interior
OF-10-375 kr	31	10	190	108	62	—	—	375	2,6	Redondo
OF-10-375 ov	32	10	190	—	62	160	110	750	2,87	Oval
OF-10-750	30	10	120	102	68	—	—	750	2,1	Con armadura interior
OF-10-750 kr	31	10	215	130	82	—	—	750	4,47	Redondo
OF-10-750 ov	32	10	215	—	82	215	140	750	5,38	Oval
OF-10-1250 kv	33	10	225	—	98	175	140	1250	7,9	Cuadrado
OF-10-2000	30	10	134	160	110	—	—	2000	6,3	Con armadura interior
OF-10-2000 kv	33	10	235	—	128	190	155	2000	11,6	Cuadrado
OF-10-3000	30	10	134	180	180	—	—	3000	0,6	Con armadura interior
OF-10-4250 kv	33	10	230	—	180	210	180	4250	10,0	Cuadrado
OF-10-6000	34	10	250	220	200	—	—	6000	22,0	Con armadura interior
OFR-10-750	35	10	124	115	—	—	—	750	3,0	Con armadura interior
OF-20-375	30	20	210	100	95	—	—	375	4,7	Lo mismo
OF-20-375 kr	31	20	295	130	100	—	—	375	5,4	Redondo
OFR-20-750	35	20	160	160	—	—	—	750	1,5	Con armadura interior
OF-20-2000 kv	33	20	315	—	170	220	175	2000	16,1	Cuadrado
OF-20-3000	30	20	206	186	90	—	—	3000	13,6	Con armadura interior
OF-20-4250 kv	33	20	305	—	200	255	208	4250	12,0	Cuadrado
OF-35-375	36	35	372	110	110	—	—	375	7,1	Con armadura interior

OF-35-375 kr	31	35	380	136	120	—	—	375	8,7	Redondo
OF-35-375 ov	32	35	380	—	120	215	170	375	8,0	Oval
OF-35-750	36	35	372	140	130	—	—	750	10,6	Con armadura interior
OF-35-750 kv	33	35	400	—	150	190	155	750	13,0	Cuadrado
OF-35-1250 kv	33	35	400	—	160	180	140	1250	13,5	Lo mismo
OF-35-2000 kv	33	35	412	—	175	206	160	2000	14	»

Tabla 36

Características y dimensiones fundamentales de los aisladores de espiga y de apoyo para instalaciones exteriores

Tipo de aislador	Número de la figura	Tensión nominal, kV	Dimensiones fundamentales, mm				Esfuerzo mínimo de rotura a la flexión (no menos de), kgf	Material	Peso por unidad (no más de), kg	Armadura
			H	D	d_1	d_2				
ONSh-6-300	37	6	170	140	92	78	350	Porcelana	2,5	Espigas y casquillos de hierro fundido
ONSh-10-500	37	10	190	160	106	100	500	Lo mismo	4,2	
ONSh-10-2000	37 *	10	210	250	150	120	2000	»	12,7	
ONSh-35-1000	38	35	400	370	170	170	1000	»	32,6	
ONSh-35-2000	39	35	400	430	175	175	2000	»	44,6	
OS-1	38 *	35	280	360	360	200	1250	»	28,4	
ShN-6s	37	6	170	140	92	78	350	Vidrio	2,5	
ShN-10s	37	10	190	185	105	80	500	Lo mismo	4,0	

* Las imágenes reales de los aisladores ONSh-10-2000 y OS-1 se diferencian de las construcciones exhibidas en las figs. 37 y 38 en detalles no considerables.

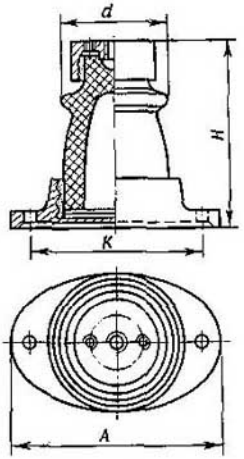


Fig. 32. Aislador de apoyo para voltajes de 6 a 20 kV (con armadura exterior y de brida en óvalo)

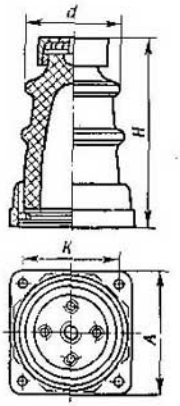


Fig. 33. Aislador de apoyo para voltajes de 10 a 35 kV (con armadura exterior y brida cuadrada)

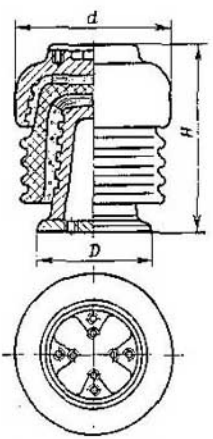


Fig. 34. Aislador de apoyo con aletas para voltaje de 10 kV y esfuerzo desruptivo de 6000 kgf

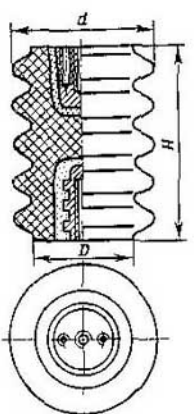


Fig. 35. Aislador de apoyo con aletas para voltajes de 10 y 20 kV (con armadura interior)

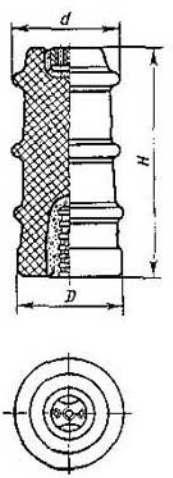


Fig. 36. Aislador de apoyo de pequeñas dimensiones para voltajes de 35 kV (con armadura interna)

después de las cifras significan: kr, base redonda de la brida (véase la fig. 31); ov, base oval de la brida (véase la fig. 32); kV, base cuadrada de la brida (véase la fig. 33). La falta de estas letras indicativas significa que la armadura metálica se encuentra empotrada en el elemento de porcelana del aislador. Los aisladores pueden funcionar en un intervalo de temperaturas desde —45 hasta +40° C.

§ 29. *Aisladores de apoyo y espiga*

Los aisladores de este tipo (figs. 37—39) se componen de uno, dos o hasta tres elementos de porcelana. Sobre la cabeza del elemento de porcelana superior *2* (fig. 39), en los aisladores de apoyo y espiga,

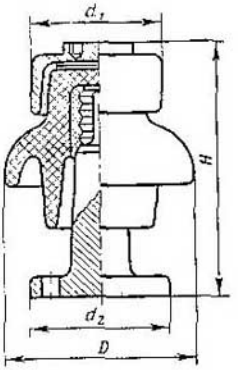


Fig. 37. Aislador de apoyo-espiga, tipos ONSh-6-300, ONSh-10-500 y ONSh-10-2000

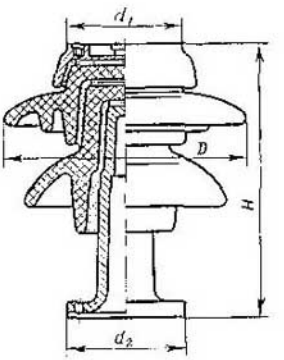


Fig. 38. Aislador de apoyo-espiga, tipo ONSh-35-1000 (ShT-35)

se aglutina una caperuza de hierro fundido *1*, la cual tiene orificios para fijar los sostenes de barras u otras piezas conductoras. Los elementos de porcelana 2, *3*, *4* se unen rígidamente entre sí con un compuesto de cemento y arena. El aislador, como conjunto, se fija sobre la espiga de hierro fundido *5* con el mismo compuesto.

Los aisladores de apoyo y espiga se usan en las instalaciones distribuidoras a la intemperie; tienen alas muy salientes, las cuales protegen de la lluvia las partes inferiores del aislador.

En la denominación de los tipos de aisladores de apoyo y espiga las letras significan: O, de apoyo; Sh, de espiga; N, para montaje

a la intemperie. Las cifras situadas en el primer lugar indican voltaje nominal, y las situadas en el segundo lugar indican el esfuerzo mínimo de ruptura del aislador (kgf). Las dimensiones y caracte-

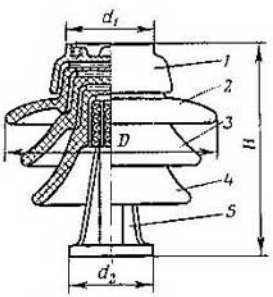


Fig. 39. Aislador de apoyo-espiga, tipo ONSh-35-2000

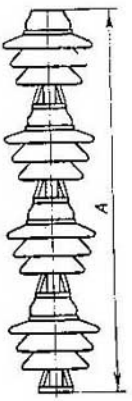


Fig. 40. Cadena de cuatro aisladores de apoyo-espiga para voltajes de 150 kV, tipo ONSh-35-2000

rísticas fundamentales de los aisladores de apoyo y espiga se exponen en la tabla 36.

Para los voltajes de 110 y 220 kV estos aisladores de apoyo y espiga se unen en columnas (fig. 40).

§ 30. *Aisladores de apoyo y vástago*

Una de las variedades de los aisladores de apoyo son los de apoyo y vástago, destinados también para funcionar en instalaciones a la intemperie (figs. 41—45).

El aislador de apoyo y vástago (véase la fig. 41) es un vástago enterizo de porcelana con alas salientes. En las partes frontales de los aisladores están fijados casquetes de hierro fundido con orificios roscados para unir los aisladores en columnas y para fijar los propios aisladores sobre aparatos e instalaciones distribuidoras. Para su fabricación se necesita menos cantidad de metal, en comparación con los aisladores de apoyo y espigas.

En la denominación de los tipos de aisladores las letras significan: O, de apoyo; N, para montaje a la intemperie; S, vástago. Para voltajes hasta 110 kV se usan aisladores de una sola unidad, y para mayores de 110 kV se usan columnas, compuestas de unos

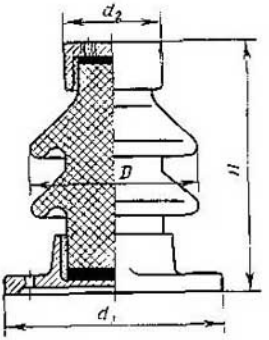


Fig. 41. Aislador de apoyo-vástago, tipos ONS-10-300 y ONS-10-500

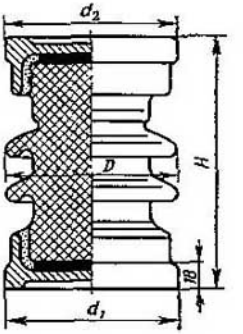


Fig. 42. Aislador de apoyo-vástago, tipo ONS-10-2000

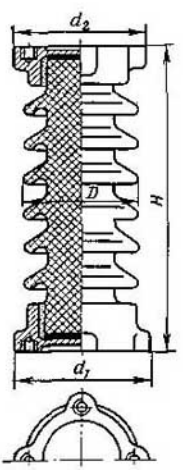


Fig. 43. Aislador de apoyo-vástago, tipos ONS-20-500 y ONS-35-500

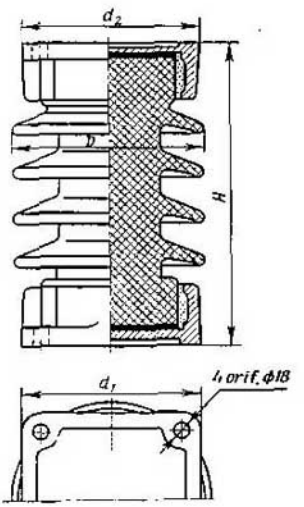


Fig. 44. Aislador de apoyo-vástago, tipos ONS-20-1000 y ONS-20-2000

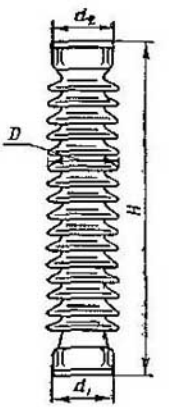


Fig. 45. Aislador de apoyo-vástago, tipos ONS-110-300; ONS-110-500; ONS-110-1000 y ONS-110-2000

cuantos aisladores. Las características y dimensiones principales de los aisladores de apoyo y vástago se exhiben en la tabla 37. Los

Tabla 37

Dimensiones y características fundamentales de los aisladores de apoyo y espiga para la intemperie

Tipo de aislador	Número de la figura	Tensión nominal, kV	Dimensiones fundamentales, mm				Esfuerzo mínimo de rotura (no menos de), kgf	Peso por unidad (no más de), kg	Configuración de la brida
			H	*D*	d_1	d_2			
ONS-10-300	41	10	175	120	140	64	300	2,7	Ovalado
ONS-10-500	41	10	170	140	160	70	500	4,5	Lo mismo
ONS-10-2000	42	10	284	200	204	204	2000	13	Cuadrado
ONS-20-500	43	20	315	150	170	170	500	9,5	Redondo
ONS-20-1000	44	20	360	160	180	180	1000	15,5	Cuadrado
ONS-20-2000	44	20	355	200	204	200kr	2000	20,0	Lo mismo
ONS-35-500	43	35	420	175	170	170	500	14,9	Redondo
ONS-35-1000	44	35	570	230	204	204	1000	46,0	Cuadrado
ONS-35-2000	44	35	500	225	227	204	2000	43,5	Lo mismo
ONS-110-300	45	110	1050	200	204	170	300	42	»
ONS-110-500	45	110	1100	225	204	204	500	68	»
ONS-110-1000	45	110	1060	230	227	227	1000	75	»
ONS-110-2000	45	110	1100	230	234	204	1000	38	»
KO-400S	44	35	500	230	204	204	1000	42	»

aisladores de apoyo y vástago pueden funcionar a temperaturas desde —45 hasta +50° C.

§ *31. Aisladores pasamuros*

Estos aisladores se usan para sacar los conductores de los tanques de transformador, interruptores de aire y de aceite, y también para aislar los conductores, que pasan a través de las paredes de los edificios. Los aisladores pasamuros (figs. 46-57) se componen de un elemento de porcelana *3*, por la cavidad interna del cual pasa un vástago conductor de corriente de sección redonda o rectangular (barra) o un grupo de barras en los aisladores pasamuros de barras (véase la fig. 48). El aislador posee una brida de hierro fundido para fijarlo sobre la tapa del tanque o en la pared (véase la fig. 46, posición *4*). Estas bridas se unen con el elemento de porcelana mediante un compuesto de cemento y arena. El vástago conductor, o la barra, se monta en casquetes (figura 52) o arandelas metálicas centradoras

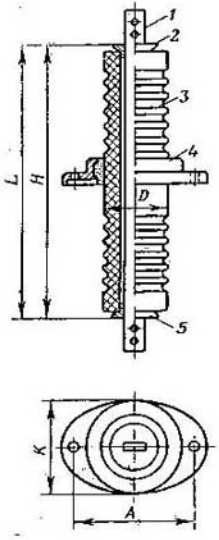


Fig. 46. Aislador pasamuros para voltajes de 6 y 10 kV y corrientes desde 250 hasta 630 A

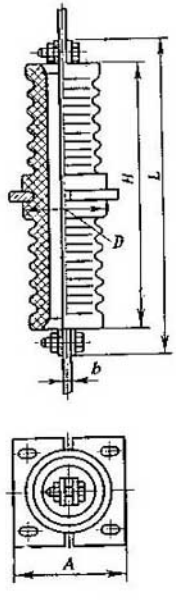


Fig. 47. Aislador pasamuros para voltajes de 10 kV y corrientes desde 160 hasta 1600 A, tipo PK

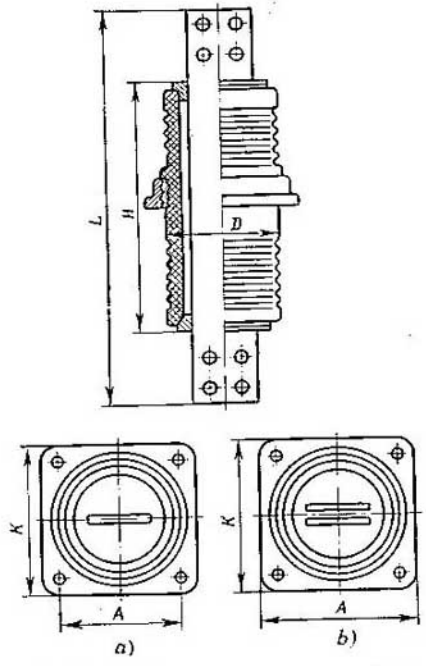


Fig. 48. Aislador pasamuros para voltaje de 10 kV y corriente de 630 A (a) y aislador pasamuros para voltaje de 10 kV y corriente de 1500 A (b)

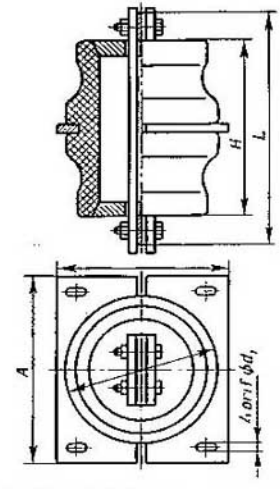


Fig. 49. Aislador pasamuros para voltaje de 10 kV y corrientes de 2000 y 4000 A, tipo PK

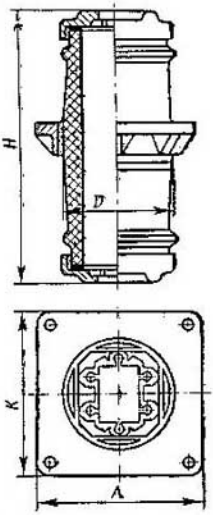


Fig. 50. Aislador pasamuros para voltaje de 10 kV y corrientes de 1000, 1600, 2000 y 3200 A

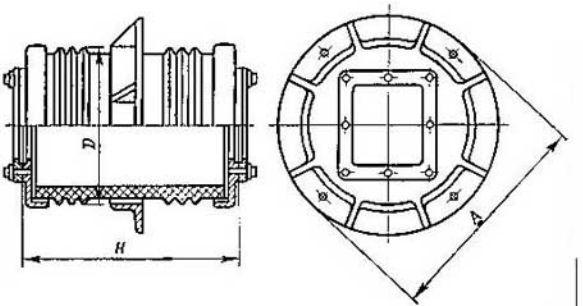


Fig. 51. Aislador pasamuros para voltajes de 10 y 20 kV y corrientes de 5000, 6000, 8000, 10000 y 12500 A

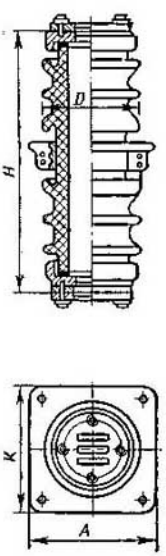


Fig. 52. Aislador pasamuros para voltaje de 20 kV y corrientes de 3200, 6300 y 8000 A

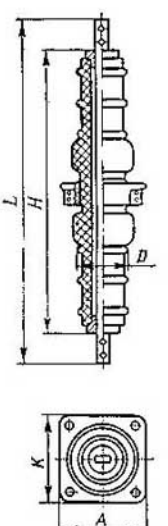


Fig. 53. Aislador pasamuros para voltaje de 35 kV y corrientes de 400, 630. y 1000 A

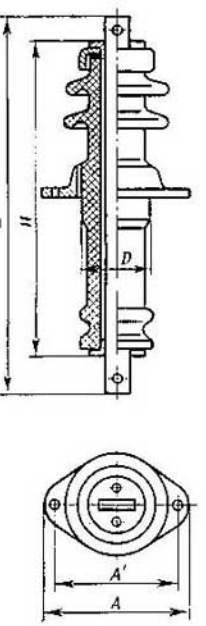


Fig. 54. Aislador pasamuros, tipo PN, para instalaciones a la intemperie para voltaje de 10 kV y corrientes de 400, 630, 1000 y 2000 A

2 y *5* (véase la fig. 46). Los casquetes se aglutinan en el elemento de porcelana con compuesto de cemento y arena. Los aisladores pasamuros para corrientes hasta 2000 A se fabrican con barras conductoras de aluminio. Para corrientes de 2000 A y mayores se fabrican sin barras. Las partes conductoras se montan en los aisladores directamente en la obra. Los aisladores pasamuros pueden funcionar hasta 1000 m de altura sobre el nivel del mar y en un intervalo de temperaturas desde —45° C hasta +40° C a humedad relativa hasta 85%.

En la denominación de los tipos de aisladores las letras significan: P, pasamuros; PK, pasamuros para instalaciones distribuidoras completas; las cifras en el numerador indican voltaje nominal (kV); las cifras en el denominador indican corriente nominal (A); los números situados después de la fracción señalan el esfuerzo mínimo de ruptura del aislador a la flexión.

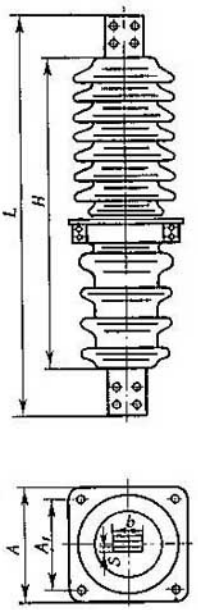


Fig. 55. Aislador pasamuros, tipo PN, para instalaciones a la intemperie para voltaje de 20 kV y corrientes de 2000 y 3200 A

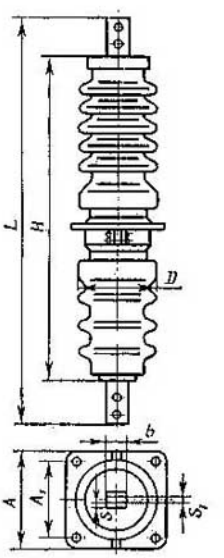


Fig. 56. Aisladores pasamuros, tipo PN, para instalaciones a la intemperie para voltaje de 35 kV y corrientes de 400, 630 y 1000 A

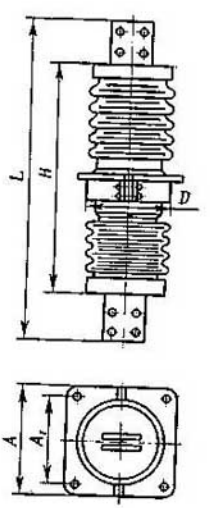


Fig. 57. Aislador pasamuros, tipo PNU, para instalaciones a la intemperie para voltaje de 5 kV y corrientes de 400, 630, 1000 y 1600 A

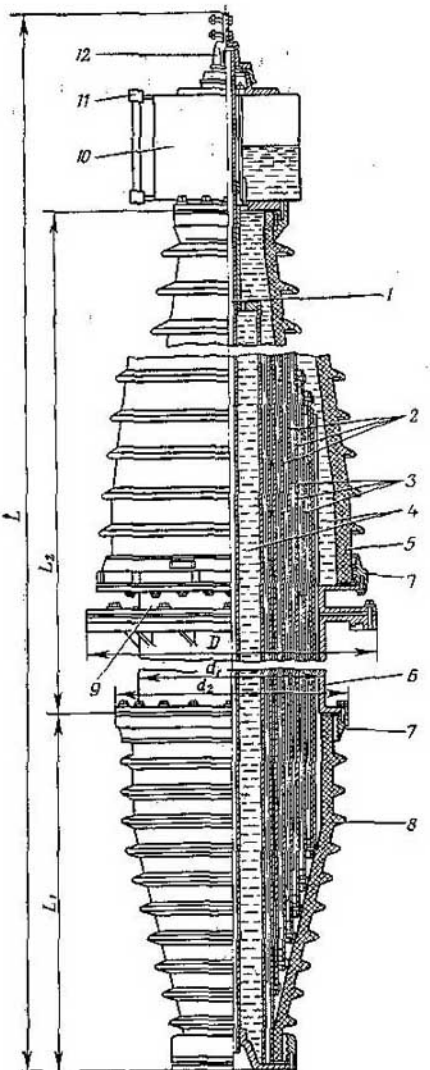


Fig. 58. Entrada (bushing) con aislamiento de papel-barrera, con bridas para interruptores de aceite y voltaje de 220 kV:

1 — tubo conductor de cobre, *2* — cilindro de papel baquelizado, *3* — revestimientos niveladores de laminillas de aluminio, *4* — aceite para transformador, *5* — cubierta superior de porcelana, *6* — buje metálico de unión, *7* — brida de hierro fundido, *8* — cubierta inferior de porcelana, *9* — brida, *10* — dilatador, *11* — indicador del nivel de aceite, *12* — borne (principal)

Tabla 38

Dimensiones fundamentales y características de los aisladores de porcelana pasamuros para instalaciones dentro de los edificios

Tipo de aislador	Número de la figura	Voltaje nominal, kV	Corriente nominal, A	Dimensiones fundamentales, mm					Esfuerzo mínimo de rotura a la flexión (no menos de), kgf	Peso por unidad (no más de), kg
				L	*H*	*D*	*A*	*K*		
P-6/250-375	46	6	250	400	260	85	160	110	375	3,4
P-6/400-375	46	6	400	400	260	85	160	110	375	3,52
PK-10/160-180	47	10	160	290	230	70	90	—	180	1,2
PK-10/250-180	47	10	250	290	230	70	90	—	180	1,4
PK-10/400-180	47	10	400	290	230	88	110	—	180	1,7
P-10/400—750	46	10	400	450	310	100	205	130	750	5,5
P-6/630-750	46	10	630	450	310	100	205	130	750	5,7
P-10/1000-750	48a	10	1000	500	310	135	190	40	750	7,2
P-10/1600-750	48b	10	1600	500	310	135	190	40	750	8,0
PK-10/1600-750	47	10	1600	290	250	160	200	—	750	5,0
PK-10/2000-2000	49	10	2000	330	250	210	265	235	2000	9,5
PK-10/4000-2000	49*	10	4000	350	250	280	355	320	2000	13,5
P-10/1000-3000	50	10	1000	**	488	205	305	305	3000	32,6
P-10/1600-3000	50	10	1600	—	488	205	305	305	3000	32,6
P-10/2000-3000	50	10	2000	—	488	205	305	305	3000	32,6
P-10/3200-3000	50	10	3200	—	488	205	305	305	3000	32,6
P-10-1000-2000	50	10	1000	—	480	155	240	240	3000	18,4
P-10/2000-2000	50	10	2000	—	480	155	240	240	4250	18,4
P-10/5000-4250	51	10	6000	—	640	380	555	—	4250	76,5
P-10/6000-4250	51	10	6000	—	640	380	555	—	4250	75,0
P-10/8000-4250	51	10	8000	—	615	380	555	—	4250	72,0
P-10/10000-4240	51	10	10000	—	615	380	555	—	4250	33,0
P-20/1000-2000	50	20	1000	—	726	205	305	305	2000	33,0
P-20/1600-2000	50	20	1600	—	726	205	305	305	2000	33,0
P-20/2000-2000	50	20	2000	—	726	205	305	305	2000	33,0
P-20/3200-2000	52	20	3200	—	770	265	322	322	2000	47,0
P-20/6300-3000	52	20	6300	—	745	265	360	360	3000	47,0
P-20/8000-4250	51	20	8000	—	930	550	660	—	4250	140,0
P-20/10000-4250	51	20	10000	—	930	550	660	—	4250	140,0
P-20/12500-4250	51	20	12500	—	930	550	660	—	4250	135,0
P-35/400-750	53	35	400	910	770	190	250	250	750	32,5
P-35/630-750	53	35	630	950	770	190	250	250	750	32,35
P-35/1000-750	53	35	1000	1010	785	220	260	260	750	36,0

* Algunos de los aisladores se distinguen de los representados en las figuras por detalles no considerables (el número de salientes, etc.).

** Estos aisladores se suministran sin barras (*L* es la largura de la barra en el aislador), por lo cual en la quinta columna no se exhiben números.

Tabla 39

Características y dimensiones fundamentales de los aisladores de paso de porcelana para instalaciones a la intemperie

Tipo de aislador*	Número de la figura	Voltaje nominal, kV	Corriente nominal, A	Dimensiones fundamentales, mm					Esfuerzo mínimo de rotura a la flexión (no menos de), kgf	Peso por unidad (no más de), kg	Elemento conductor (barras de aluminio)
				L	*H*	*D*	*A*1	*A*			
PN-10/400-750	54	10	400	560	395	110	175	215	750	6,7	Una barra 40 × 4 mm
PN-10/630-750	54	10	630	580	395	110	175	215	750	7,1	Una barra 50 × 6 mm
PN-10/1000-750	54	10	1000	580	395	110	175	215	750	7,6	Dos barras 50 × 6 mm
PN-10/2000-1250	54	10	2000	650	415	140	155	295	1250	12,0	Dos barras 60 × 8 mm
PN-20/2000-1250	55	20	2000	886	636	240	220	270	1250	34,7	Dos barras 100 × 8 mm
PN-20/3200-1250	55	20	3200	886	636	240	220	270	1250	38,0	Dos barras 100 × 10 mm
PN-35/400-750	56	35	400	1020	850	200	200	250	750	34,0	Una barra 40 × 4 mm
PN-35/630-750	56	35	630	1040	850	200	200	250	750	36	Una barra 50 × 6 mm
PN-35/1000-750	56	35	1000	1080	850	225	200	260	750	38	Dos barras 50 × 6 mm
PNU-35/400/750	57	35	400	1030	840	195	210	260	750	34,0	Una barra 40 × 4 mm
PNU-35/630-750	57	35	630	1030	840	195	210	260	750	36,0	Una barra 50 × 6 mm
PNU-35/1000-750	57	35	1000	1070	840	195	210	260	750	36,6	Dos barras 50 × 8 mm
PNU-35/1600/750	57	35	1600	1070	840	235	240	300	750	37,4	Dos barras 80 × 8 mm

* En las instalaciones para voltajes nominales de 6 kV se debe utilizar aisladores destinados para voltajes de 10 kV.

Los aisladores pasamuros para instalaciones a la intemperie (figs. 54—57) tienen alas muy salientes. Estas protegen de la lluvia las partes inferiores del aislador. Los aisladores pasamuros pueden funcionar en las instalaciones a temperaturas desde —45 hasta+40° C y niveles sobre el mar no mayores de 1000 m.

En la denominación de los tipos de aisladores pasamuros para instalaciones a la intemperie, las letras y cifras situadas a continuación de las letras significan lo mismo que en el caso de aisladores para instalaciones interiores. A la denominación se añade además una letra N, la cual indica que el aislador es para instalaciones a la intemperie; y la U, con aislamiento reforzado por exterior. Los accesorios para los aisladores pasamuros (bridas, arandelas, etc.) se fabrican de materiales no magnéticos (para corrientes menores de 1500 A se fabrican de tipos especiales de hierro fundido) y de siluminio. En la tabla 38 se exhiben las características y dimensiones principales de los aisladores pasamuros para instalaciones interiores. En la tabla 39 se exhiben las características y dimensiones principales de los aisladores pasamuros para instalaciones a la intemperie.

§ 32. *Entradas de porcelana rellenas de aceite*

Las entradas rellenas de aceite (bushing) son aisladores de porcelana pasamuros de grandes dimensiones. Las entradas están destinadas para pasar los conductores de alto voltaje a los tanques de transformadores, interruptores de aceite, reactancias; y también para pasar los cables de alto voltaje a través de las paredes de los edificios (entradas generales). Las entradas se fabrican para voltajes nominales V_n:66, 110, 150, 220, 330 y 500 kV y para corrientes desde 200 hasta 2000 A incluidos.

Las entradas se fabrican con aislamiento interior de aceite-barrera (construcciones antiguas) y con aislamiento de papel-aceite (construccionas modernas).

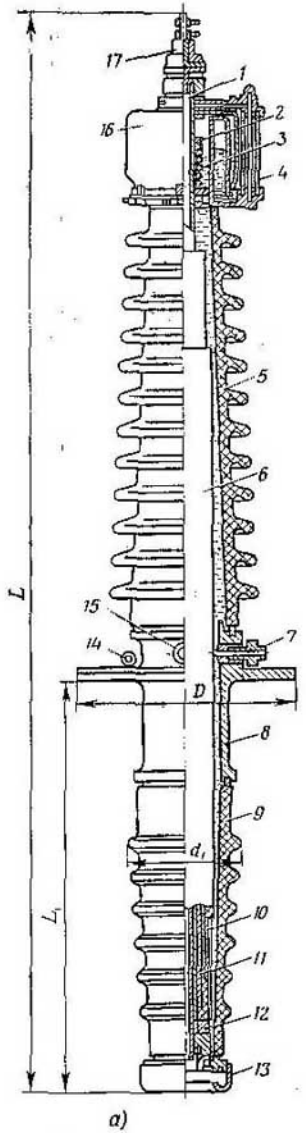
La entrada está compuesta de las siguientes partes fundamentales (fig. 59).

1. La barra central (tubo) *1*, la cual sirve para la unión de todas las piezas de la entrada. En las entradas para interruptores de aceite, y también en algunos tipos de entradas para trasformadores, el tubo sirve de elemento conductor. En la mayoría de las entradas para transformadores como elemento conductor sirve un cable introducido por dentro del tubo.

2. El armazón aislador (aislamiento interior).

Como aislamiento interior se utilizan los siguientes tipos:

a) **de aceite-barrera**, el cual se compone de aceite dividido en capas por medio de cilindros de papel baquelizado con láminas niveladoras de hojas finas de aluminio;



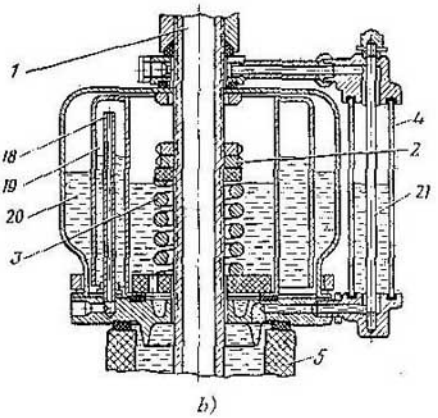


Fig. 59. Entrada no hermética con aislamiento de papel-aceite

do en capas por medio de láminas niveladoras de material conductor.

La última (de puesta a tierra) lámina del armazón aislador se conecta a tierra en la parte exterior del buje de empalme *8* a través de la salida aislada *7*.

En las entradas que tienen instrumento medidor de voltaje, el conductor que viene de la última lámina se conecta a tierra sólidamente en el interior de la entrada, y el que viene de la penúltima lámina tiene salida a la parte exterior del buje de empalme a través de la salida aislada *7*.

b) **de papel-aceite**, compuesto de papel aislador, impregnado con aceite y dividido en capas con láminas de material conductor y semiconductor; forma el núcleo aislador *6*;

c) **sólido**, se obtiene devanando bajo presión y a temperaturas elevadas, el papel aislador impregnado con resinas artificiales y dividi-

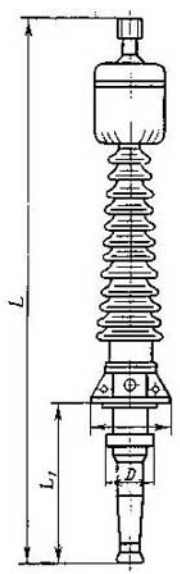


Fig. 60. Entrada hermética con aislamiento de papel-aceite y con cápsulas onduladas incorporadas

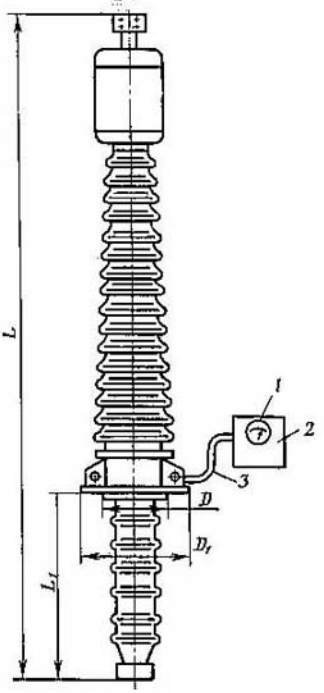


Fig. 61. Entrada hermética con aislamiento de papel-aceite y con tanque de presión separado

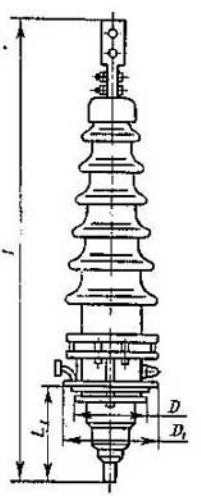


Fig. 62. Entrada de apoyo del aceite con aislamiento interior de aceite-barrera

3. El buje de empalme *8* está provisto de una brida de apoyo, cuyo destino es el de fijar la entrada en el aparato, en la abertura de la pared del edificio o de la cubierta.

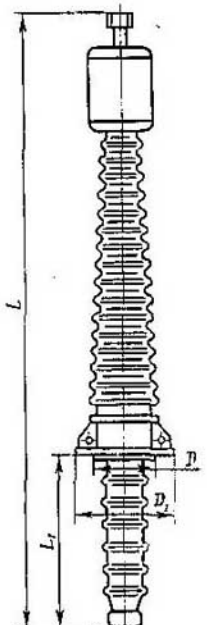


Fig. 63. Entrada hermética con aislamiento de papel-aceite y con aislamiento exterior reforzado

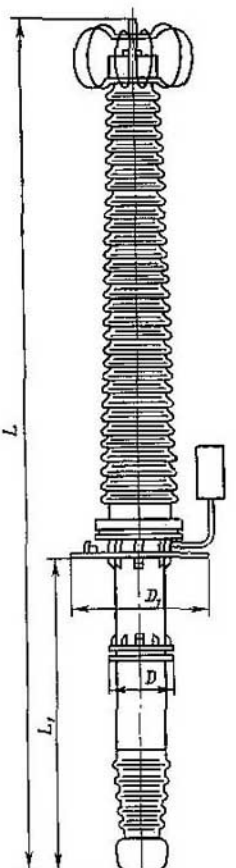


Fig. 64. Entrada hermética para 500 kV con aislamiento de papel-aceite y con tanque de presión separado

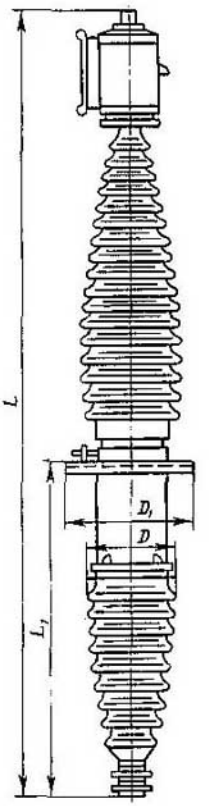


Fig. 65. Entrada no hermética con aislamiento de papel-aceite y con aislamiento exterior reforzado

El buje de empalme está provisto de:

a) el dispositivo *14* para elevar la entrada;

b) el dispositivo *15* (en las entradas no herméticas y en las de reactancias especiales) para tomar muestras del aceite en la parte inferior de las entradas;

c) la salida de medición, o salida para conexión del instrumento medidor de voltaje (IMV) (fig. 66);

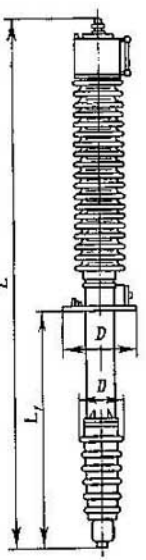


Fig. 66. Entrada no hermética con aislamiento exterior reforzado y con IMV

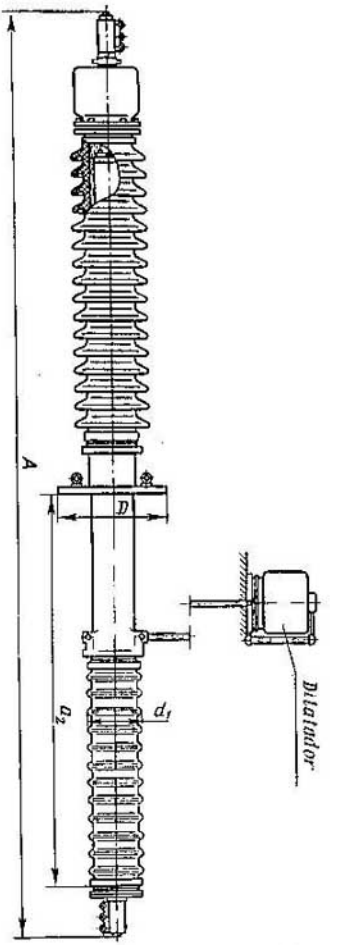


Fig. 67. Entrada hermética para líneas con aislamiento de papel-aceite y con tanque de presión separado

d) el orificio para dejar salir el aire del transformador;

e) la tubuladura para derivar los gases o el teton para acoplamiento del relé de gas;

Tabla 40

Dimensiones fundamentales y características de las entradas de porcelana rellenas de aceite para los transformadores

Tipo de entrada	N° de la figura	V_n^*, kV	I_n^{**}, A	Dimensiones fundamentales, mm				Capacidad, pF	Peso, kg	Característica general de la entrada
				L	L_1	D	D_1			
MBTO 0-45 -66/400	62	66	400	1415	315	340	155	68	74	Entrada de apoyo del aceite con aislamiento interior de aceite-barrera
MBTO 0-45 -66/1600-UT	62	66	1600	1960	785	530	205	234	133	Lo mismo
GBMT 0-45 -110/630	60	110	630	2390	663	350	180	204	136	Entrada hermética con cápsulas onduladas incorporadas
GBMT 0-45 -110/630 U	63	110	630	2490	663	350	180	204	156	Lo mismo, pero con el aislamiento exterior reforzado
BMT 15 -110/630	59	110	630	2540	955	535	230	200	243	Entrada no hermética
BMT 15 -110/630 U	59	110	630	2880	970	535	230	200	275	Lo mismo, pero con el aislamiento exterior reforzado
GTBT 0-60 -110/800-U1	62	110	800	2480	970	290	175	200	100	Entrada con aislamiento sólido
BMT 0-15 1000 / 2000 -110/1600-U1	59	110	1000 1600 2000	2575	1035	528	280	334	201	Entradas no herméticas, las cuales se distinguen por la sección de los bornes de contacto
BMT 0-15 1000 / 2000 -110/1500-U1	59	110	1000 1500 2000	2695	1035	528	230	384	225	Lo mismo, pero con el aislamiento exterior reforzado
GBMT 0-45 -132/200-T1	61	132	200	2880	1080	420	280	300	360	Entrada hermética con tanque de presión separado

GBMT 0-45 -132/1000-T1	61	132	1000	3005	1090	420	345	540	480	Entrada hermética con tanque de presión separado
GBMT 0-45 -132/1600-T1	61	132	1600	3050	1090	420	345	540	480	Lo mismo
GBMT 0-45 -150/630-U1	60	150	630	2949	843	350	180	264	256	Entrada hermética con cápsulas onduladas incorporadas
GBMT 0-45 -150/630-U1	60	150	630	3149	843	350	180	264	272	Lo mismo
GBMTU 0-45 -150/2000/U1	60	150	2000	3212	996	420	260	490	420	Lo mismo
GBMT 0-45 -150/2000/U1	63	150	2000	3412	994	420	260	490	447	Lo mismo, pero con el aislamiento exterior reforzado
GBMT 0-45 -220/400-U-U1	61	220	400	4385	1380	760	365	543	1005	Hermética, con tanque de presión separado, con aislamiento exterior reforzado, para clima moderado
GBMT 0-45 -220/1600-U1	61	220	1600	4230	1380	760	365	543	924	Entrada hermética con tanque de presión separado, para clima moderado
GBMT 0-45 -220/2000-U1	60	220	2000	4445	1380	600	365	543	884	Entrada hermética con cápsulas onduladas incorporadas
GBMT 0-45 -220/2000-U1	63	220	2000	4645	1380	600	365	543	975	Lo mismo, pero con el aislamiento exterior reforzado
GBMTP 0-45 -330/2000	62	330	2000	4975	1615	818	444	500	1428	Entrada hermética con tanque de presión separado y con IMV
GBMTP 0-45 -330/2000-U1	62	330	2000	5885	1615	818	444	500	1632	Lo mismo, pero con el aislamiento exterior reforzado
GBMTP 0-30 -500/1000-U1	64	500	1000	7150	2600	1200	590	638	3070	Lo mismo, pero con IMV
GBMTP 0-30 -500/1600-U1	64	500	1600	7150	2600	1200	590	638	3070	Lo mismo, pero para corrientes más fuertes

* V_n — voltaje nominal. ** I_n — corriente nominal.

f) la válvula para regular la presión en les entradas herméticas y el dispositivo medidor con manómetro para medir la presión en las entradas herméticas con el compensador de presión en su interior.

4. Las cubiertas de porcelana superior *5* e inferior *9* protegen al aislamiento interior de la entrada contra la influencia de la atmósfera y simultáneamente sirven como depósito para el aceite que rellena la entrada.

Las entradas con aislamiento duro y las entradas de apoyo del aceite para transformadores no tienen cubierta inferior.

5. Para compensar las variaciones térmicas del volumen del aceite en la entrada, las entradas no herméticas tienen el dilatador *16* con el cierre hidráulico *20* y el indicador de nivel del aceite *4*.

Las entradas herméticas tienen compensadores de presión, colocados en la parte superior de la entrada (fig. 60) o en el tanque de presión (fig. 61). El tanque de presión *2* está unido con la entrada a través del tubo flexible *3*, y en la cubierta del tanque se dispone el dispositivo medidor con manómetro *1* para controlar la presión en el sistema entrada— tanque de presión.

6. Los terminales de contacto *17* de las entradas (fig. 59) están destinados para conectarlos con los bornes.

7. Las pantallas *13*, la inferior y la superior, y también las pantallas de fijación mecánica del buje acoplador con las cubiertas están destinadas a apantallar las partes metálicas salientes y a nivelar el campo eléctrico.

La unión de las piezas de la entrada está realizada en la barra central, para lo cual se utilizan los resortes en espiral, *3*, que compensan las variaciones térmicas de la longitud de la barra y de las piezas a unir.

En algunos casos las cubiertas de porcelana se fijan al buje de empalme mecánicamente.

En las tablas 40, 41, y 42 están presentados los tipos, las dimensiones fundamentales y las características técnicas de las entradas que fabrica la industria.

En la denominación convencional del tipo de la entrada, las letras y los números significan lo siguiente:

G — hermética (la no hermética no tiene designación);
BM — aislamiento interior de papel-aceite;
MB — aislamiento interior de aceite-barrera;
TB — aislamiento interior duro;
T — para transformadores y reactancias;
R — para reactancias especiales;
V — para interruptores de aceite;
L — para líneas (para funcionamiento en ambiente aire—aire);
O — de apoyo del aceite, las cuales tienen el sistema de aceite común con el del transformador;
P — con condensador de medición, destinado para conectar el instrumento medidor de voltaje (IMV);

Tabla 41

Dimensiones fundamentales y características de las entradas de porcelana rellenas de aceite para los interruptores de aceite

Tipo de entrada	N° de la figura	U_n, kV	I_n, A	Dimensiones fundamentales, mm				Capacidad, pF	Peso, kg	Característica general de la entrada
				L	L_1	D	D_1			
BMVPU 0-16-110/1000-U1	65	110	1000	3195	1130	528	275	—	316	Entrada no hermética con el aislamiento exterior reforzado, para clima moderado
GBMVU 0-15-110/1000-U1	63	110	1000	3075	1130	550	245	450	255	Entrada hermética con el compensador de presión en el interior, con el aislamiento exterior reforzado, para clima moderado
GBMVU 0-15-110/2000-U1	63	110	2000	3525	1130	550	245	450	481	Lo mismo
BMVU 0-15-220/1000-U1	65	220	1000	4475	1820	818	470	610	1295	Entrada no hermética con el aislamiento exterior reforzado, para clima moderado
BMVP 0-15-220/1000-U1	66	220	1000	4475	1820	818	470	610	1295	Lo mismo, pero con IMV
BMV 0-15-220/2000-U1	65	220	2000	4475	1820	870	470	610	1040	Entrada no hermética
BMVP 0-15-220/2000-U1	66	220	2000	4475	1820	870	470	610	1040	Lo mismo, pero con IMV

Tabla 42

Dimensiones fundamentales y caraterísticas de las entradas de porcelana rellenas de aceite para líneas

Tipo de entrada	N° de la figura	V_n, kV	I_n, A	Dimensiones fundamentales, mm				Capacidad, pF	Peso, kg	Característica general de la entrada
				L	L_1	D	D_1			
GBMLPU 0-90 -110/1000-U1	67	110	1000	3610	1805	420	245	560	374	Entrada hermética con tanque de presión separado y con IMV
GBMLPU 0-90 -110/2000-U1	67	110	2000	3640	1820	420	245	600	376	Lo mismo
GBMLU 0-90 -66/1200-U1	67	66	1200	2530	1296	390	169	514	240	Entrada hermética con tanque de presión separado
GBML 0-90 -220/1000-U1	67	220	1000	5645	2200	890	510	710	1170	Lo mismo

U — el aislamiento exterior reforzado (si el aislamiento exterior es normal, en la denominación de la entrada no se significa);

V — aislamiento exterior para funcionamiento a elevados niveles sobre el mar;

0-15, 0-20, 0-30, 0-45, 0—90 — ángulo permisible de inclinación respecto a la vertical, en grados;

66, 110, 132, 150, 220, 330, 500, 750 — clases de voltaje, kV;

200, 400, 630, 1000, 1600, 2000, 2500, 3200, 4000 — corrientes nominales, A;

U — para clima moderado;

T — para clima tropical;

JL — para clima frío;

1 — característica de la forma de disposición del equipo durante su explotación.

El ejemplo de denominación convencional de una entrada $\left(\frac{\text{GBMTPU}}{0-45}\right)$ — 220/400-U1) se descifra de la siguiente manera: hermética (G); con aislamiento de papel-aceite (BM); para transformadores (T); con salida para conexión del JMV (P); con el ángulo admisible de inclinación de la entrada respecto a la vertical de 0° hasta 45°, para voltaje nominal de 200 kV; corriente nominal de 400 A; con aislamiento exterior reforzado (U); ejecución para el clima y modo de disposición del equipo (U1).

§ *33. Conocimientos generales sobre condensadores*

Los condensadores eléctricos (figs. 68-69) son dispositivos compuestos de un dieléctrico y electrodos metálicos (armaduras), los cuales conjuntamente con el dieléctrico forman una capacidad eléc-

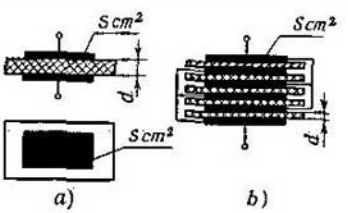


Fig. 68. Condensadores planos:
a — condensador de dos armaduras (el área de una armadura es *S*), *b* — condensador de armaduras múltiples (cantidad de placas es *N*)

trica. La capacidad de cualquier condensador depende de las dimensiones geométricas de las armaduras metálicas, del dieléctrico y su permeabilidad dieléctrica (véase la tabla 43).

Tabla 43

Fórmulas para el cálculo de la capacidad de condensadores

Tipo constructivo del condensador	Magnitud de la capacidad		
	cm	F	pF
Plano con dos armaduras	$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi d}=0{,}0796\,\frac{\varepsilon S}{d}$	$C=\frac{\varepsilon_0\varepsilon S}{d}$ o $C=\frac{1}{9\cdot10^{11}}\cdot\frac{\varepsilon S}{4\pi d}$	$C=0{,}0883\,\frac{\varepsilon S}{d}$
Plano con armaduras múltiples	$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi d}(N-1)$	$C=\frac{\varepsilon_0\varepsilon S}{d}(N-1)$ $C=\frac{1}{9\cdot10^{11}}\cdot\frac{\varepsilon S}{4\pi d}(N-1)$	$C=0{,}0883\,\frac{\varepsilon S}{d}(N-1)$
Condensador en espiral, enrollado con cintas dieléctricas de d (cm) de espesor, apartadas con separadores de b (cm) de ancho y L (cm) de longitud (fig. 69,*b*)	$C=\frac{2\varepsilon bL}{\pi d}$	$C=\frac{\varepsilon_0\varepsilon bL}{d}$ o $C=\frac{2\varepsilon bL}{9\cdot10^{11}\,\pi d}$	$C=0{,}1766\,\frac{\varepsilon bL}{d}$
Esférico con dos armaduras concéntricas (radios: r_1 y r_2)	$C=\frac{\varepsilon r_1 r_2}{(r_2-r_1)}$	$C=\frac{\varepsilon_0\varepsilon r_1 r_2}{(r_2-r_1)}$ o $C=\frac{1}{9\cdot10^{11}}\cdot\frac{\varepsilon r_1 r_2}{(r_2-r_1)}$	$C=1{,}111\,\frac{\varepsilon r_1 r_2}{(r_2-r_1)}$

Cilíndrico con dos armaduras (fig. 69,*a*)	$C = \dfrac{\varepsilon l}{2 \ln \dfrac{D_2}{D_1}}$	$C = \dfrac{\varepsilon_0 \varepsilon 2\pi l}{\ln \dfrac{D_2}{D_1}}$ o $C = \dfrac{1}{9 \cdot 10^{11}} \cdot \dfrac{\varepsilon l}{2 \ln \dfrac{D_2}{D_1}}$	$C = 1{,}111 \dfrac{\varepsilon l}{2 \ln \dfrac{D_2}{D_1}}$
Cilíndrico con varias armaduras (fig. 69,*c*)	$C = \dfrac{\varepsilon l}{2} \times \dfrac{1}{\left(\ln \dfrac{D_2}{D_1} + \ln \dfrac{D_3}{D_2} + \right.}$ $\left. + \ldots \ln \times \dfrac{D_n}{D_{(n-1)}} \right)$	$C = \varepsilon_0 \varepsilon 2\pi l \times$ $\times \dfrac{1}{\left(\ln \dfrac{D_2}{D_1} + \ln \dfrac{D_3}{D_2} + \ln \times \right.}$ $\left. \times \dfrac{D_n}{D_{(n-1)}} \right)$	El valor de la capacidad en cm se debe multiplicar por el coeficiente 1, III

Observaciones: $\varepsilon_0 = 8{,}85416 \cdot 10^{-14}$ F/cm — constante dieléctrica; ε — permeabilidad dieléctrica relativa del dieléctrico, S — superficie de la armadura, cm²; d — espesor de la capa dieléctrica, cm; N — número de armaduras metálicas en el condensador, D_1 — diámetro de la primera armadura del condensador cilíndrico, cm, D_2 — diámetro de la segunda armadura del condensador cilíndrico, cm, D_n — diámetro de la última armadura (la exterior) del condensador cilíndrico, cm; r_1 — radio interior de la esfera, cm; r_2 — radio exterior de la esfera, cm; l — longitud de la armadura cilíndrica, cm; L — longitud de la armadura enrollada en el condensador en espiral), cm.

En el sistema de unidades SI por unidad de capacidad se estableció el faradio (F), o sea la capacidad de un condensador, en el cual una carga de 1 coulombio produce en sus armaduras una diferencia de potencial igual a 1 voltio. Las unidades fraccionarias del faradio son: microfaradio (μF) y picofaradio (pF o μμF); $1\mu F = 10^{-6}$ F,

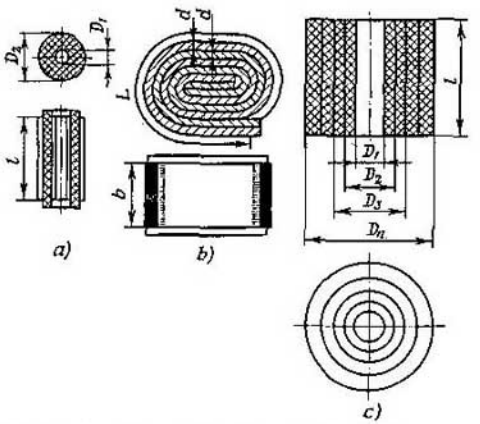


Fig. 69. Condensadores cilíndricos y devanados en espiral:
a — condensador cilíndrico de dos armaduras, *b* — condensador en espiral, *v* — condensador cilíndrico con armaduras múltiples

$1\,\mu\mu F = 10^{-12}$ F. En el sistema CGS por unidad de capacidad se estableció el cm. Las relaciones entre las unidades de SI y CGS son las siguientes:

$$0{,}9 \text{ cm} = 1\mu\mu F 1\mu\mu F = 1{,}10^{-6}\mu F = 1{,}10^{-12} F$$

o

$$1F = 10^{6}\mu F = 10^{12} \text{ p}F\,(10^{12}\mu\mu F) = 9 \cdot 10^{11} \text{ cm}.$$

Por su construcción los condensadores se diferencian: planos de dos armaduras, planos con unas cuantas armaduras (de placas múltiples), cilíndricos de dos armaduras, cilíndricos con armaduras múltiples, etc.

Se diferencian condensadores de capacidad constante y de capacidad variable. De acuerdo al dieléctrico usado los condensadores se diferencian: de vacío, de aire, de gas, con dieléctrico orgánico duro (de papel, peliculares), con dieléctrico duro impregnado con líquido aislante, con dieléctrico inorgánico duro (mica, cerámica, etc.), con dieléctrico inorgánico duro en contacto con un electrolito (condensadores electrolíticos).

La capacidad del condensador cambia al variar la temperatura. Esta variación se valúa mediante el coeficiente de temperatura de la capacidad CTC

$$\text{CTC} = \frac{C_2 - C_1}{C_1 (t_2 - t_1)} 1/^{\circ}\text{C},$$

donde C_1 es la capacidad del condensador a temperatura t_1;
C_2 es la capacidad del condensador a temperatura t_2;
Los valores de CTC para los tipos fundamentales de condensadores se exhiben en la tabla 44.

Tabla 44

Valor del coeficiente de temperatura de la capacidad de los tipos principales de condensadores

Tipo de condensador	CTC×10⁻⁶, 1/°C	tg δ normalizado	
		(no más de)	a frecuencia, Hz
De vacío	+(20 ÷ 30)	$3 \cdot 10^{-4}$	10^6
De aire, patrón	+(25 ÷ 50)	$1 \cdot 10^{-4}$	10^3
De cuarzo	+(20 ÷ 40)	$8 \cdot 10^{-4}$	10^6
De vidrio-esmalte	+(40 ÷ 100)	$15 \cdot 10^{-4}$	10^6
De mica	+(10 ÷ 50)	$10 \cdot 10^{-4}$	10^6
De poliester	−(75 ÷ 150)	$10 \cdot 10^{-4}$	10^6
De polietileno	−(500 ÷ 700)	$9 \cdot 10^{-4}$	10^6
De «lavsán»	−(300 ÷ 500)	—	—
De politetrafluoruro de etileno	−(50 ÷ 200)	$10 \cdot 10^{-4}$	10^6
De papel	±100 ÷ ±900*	$100 \cdot 10^{-4}$	10^6
De cerámica**			
clase I *a*	−(2300 ÷ 4300)	$12 \cdot 10^{-4}$	10^6
clase I *b*	−(1100 ÷ 1500)		10^6
clase II *b*, *c*, *d*, *e*	−(110 ÷ 850)	$12 \cdot 10^{-4}$	10^6
clase III *a*, *b*, *c*	−(13 ÷ 105)		10^6
clase III *d*	±20		10^6
clase III *e*	+(13 ÷ 53)		10^6

* En el intervalo de temperaturas de 20 a 60° C, en dependencia del compuesto impregnante y de la categoría del papel el coeficiente de temperatura de la capacidad varía en amplios límites.
** Estos datos se refieren a los materiales cerámicos para condensadores de los primeros tres grupos principales.

Por su utilidad los condensadores se dividen en condensadores de circuito oscilante, de filtrado, separadores de ánodo, de factor de potencia, protectores, para hornos (para instalaciones electrotérmicas), de automóvil, de teléfonos, etc.

En la tabla 43 se exponen las fórmulas para calcular las capacidades de las construcciones de condensadores de capacidad constante.

§ 34. *Características eléctricas y dimensiones de los condensadores de papel impregnado con aceite*

En las figuras 70-73 se exhiben las construcciones de los condensadores de papel impregnados con aceite, compensadores estáticos, destinados a elevar el factor de potencia en las instalaciones de corriente alterna con frecuencia de 50 Hz. Los condensadores se fabrican en cascos de acero pintados de 1ª (380 × 120 × 325 mm) y 2ª

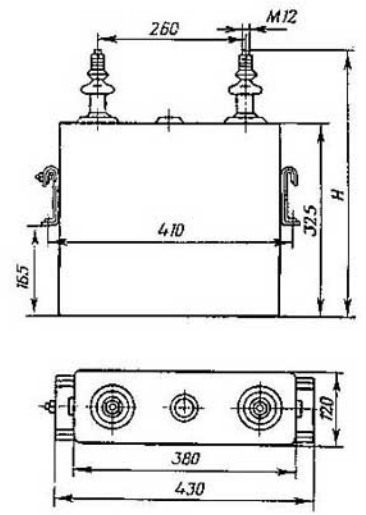


Fig. 70. Condensadores de papel-aceite para compensadores estáticos y voltajes de 220 a 3150 V y de ejecución monofásica, tipos KM, KS, KMA, KSA

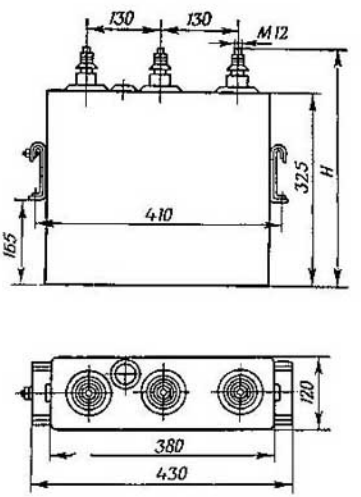


Fig. 71. Condensadores de papel-aceite para compensadores estáticos y voltajes de 220 a 660 V de ejecución trifásica, tipos KM, KS, KMA, KSA

(380 × 120 × 640 mm) dimensiones. El primer número indica la longitud, el segundo la anchura, y el tercero indica la altura del casco. Los condensadores de papel impregnado con aceite toleran el funcionamiento prolongado a valores efectivos de voltaje elevados hasta el 110% del nominal o a valores efectivos de corriente elevada hasta el 130% de la corriente, que circula bajo el voltaje nominal.

En la tabla 45 se muestran las características de estos condensadores. En la denominación de los tipos de condensadores de papel impregnado con aceite para compensadores estáticos las letras y cifras significan: K, para compensadores estáticos; M, impregnados con aceite mineral; C, impregnados con líquido sintético electroais-

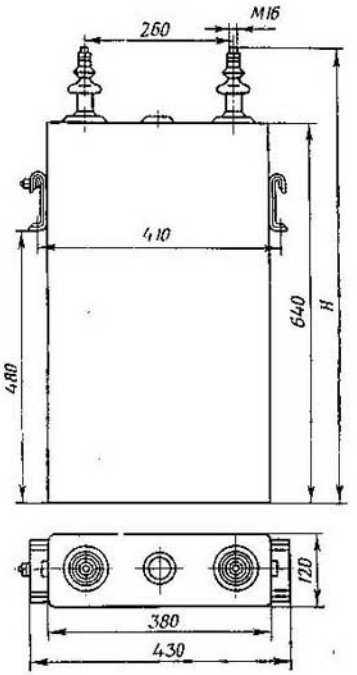


Fig. 72. Condensador de papel-aceite para compensadores estáticos y voltajes de 220 a 3150 V de ejecución monofásica, tipos KM2, KS2, KM2A, KS2A

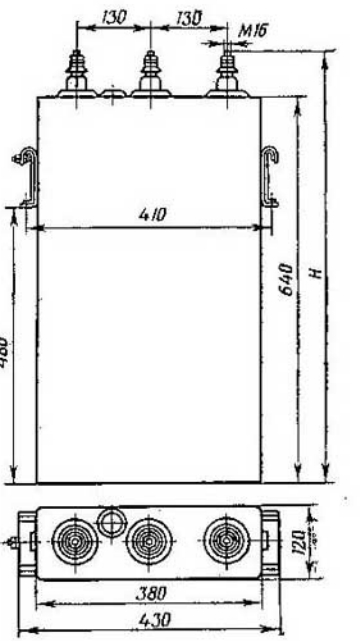


Fig. 73. Condensador de papel-aceite para compensadores estáticos de ejecución trifásica, tipos KM2, KS2, KM2A, KS2A

lante; A, ejecución para la intemperie; 2, en casco de segunda dimensión (mayores dimensiones). La ausencia de la cifra en la denominación del tipo significa, que el casco es de la primera dimensión, y el condensador es de inferior capacidad eléctrica.

§ 35. *Características eléctricas y dimensiones de los condensadores cerámicos de alto voltaje*

Los condensadores cerámicos de alto voltaje de capacidad constante están destinados para funcionar en circuitos de corriente continua hasta voltajes de 30 kV, en circuitos de corriente alterna y alta frecuencia hasta voltajes de 25 kV *efectivos*, también se usa en regímenes de impulsión. Los condensadores de cerámica se fabrican de

Tabla 45

Características eléctricas y dimensiones fundamentales de los condensadores de factor de potencia de papel-aceite*

Tipo de condensador	Voltaje, *V*	Potencia, kVAr	Capacidad a 20° C, μF	Altura *H*, mm	Peso, kg	Modo de ejecución	Número de la figura
KM-0,22-4,5	220	4,5	296	408±7	26	Monofásico o trifásico**	70
KM-0,38-13	380	13	286	408±7	26	Lo mismo	71
KM-0,5-13	500	13	165	408±7	26	» »	71
KM-0,66-13	660	13	95	422±7	26	» »	71
KM-3,15-13	3 150	13	4,17	445±8	24	Monofásico	70
KM-6,3-13	630	13	1,04	475±9	24	Lo mismo	70
KM-10,5-13	1 050	13	0,376	530±11	24	» »	70
KMA-0,22-4,5	220	4,5	296	475±9	27	Monofásico o trifásico**	70
KMA-0,38-13	280	13	286	475±9	27		71
KMA-0,5-13	500	13	165	475±9	27	Lo mismo	71
KMA-0,66-13	660	13	95	475±9	27	» »	71
KMA-3,15-13	3 150	13	4,17	475±9	24	Monofásico	70
KMA-6,3-13	630	13	1,04	520±11	24	Lo mismo	70
KMA-10,5-13	1 050	13	0,376	556±12	25	» »	70
KM2-0,22-9	220	9	592	726±7	52	Monofásico o trifásico**	72
KM2-0,38-26	380	26	572	726±7	52	Lo mismo	73
KM2-0,5-26	500	26	330	726±7	52	» »	73
KM2-0,66-26	660	26	190	740±7	52	» »	73
KM2-3,15-26	3 150	26	8,34	760±8	48	Monofásico	73
KM2-6,3-26	6 300	26	2,08	790±9	48	Lo mismo	72
KM2-10,5-26	10 500	26	0,752	845±11	48	» »	72
KM2A-0,22-9	220	9	592	790±9	53	Monofásico o trifásico**	72
M2A-0,38- 26	380	26	572	790±9	53	Lo mismo	73
KM2A-0,5-26	500	26	330	790±9	53	» »	73

KM2A-0,66-26	660	26	190	790±9	53	Lo mismo	73
KM2A-3,15-26	3 150	26	8,34	790±9	48	Monofásico	72
KM2A-6,3-26	6 300	26	2,08	825±10	48	Lo mismo	72
KM2A-10,5-26	10 500	26	0,752	878±11	48	» »	72
KS-0,22-6	220	6	395	408±7	28	Monofásico o trifásico**	70
KS-0,22-8	220	8	526	408±7	28	Lo mismo	71
KS-0,38-18	380	18	397	408±7	28	» »	71
KS-0,38-25	380	25	551	408±7	28	» »	71
KS-0,5-18	500	18	229	408±7	28	» »	71
KS-0,66-0,20	660	20	146	422±7	28	» »	71
KS-0,66-0,25	660	25	183	422±7	28	» »	71
KS-1,05-25	1 050	25	72	422±7	27	Monofásico	70
KS-1,05-37,5	1 050	37,5	108,3	422±7	27	Lo mismo	70
KS-3,15/$\sqrt{3}$-25	3150/$\sqrt{3}$	25	24	445±8	27	» »	70
KS-3,15/$\sqrt{3}$-37,5	3 150/$\sqrt{3}$	37,5	36,1	445±8	27	» »	70
KS-3,15-25	3 150	25	8,0	445±8	27	Monofásico	70
KS-3,15-37,5	3 150	37,5	12	445±8	27	Lo mismo	70
KS-6,3/$\sqrt{3}$-25	6 300/$\sqrt{3}$	25	6	475±9	27	» »	70
KS-6,3/$\sqrt{3}$-37,5	6 300/$\sqrt{3}$	37,5	9	475±9	27	» »	70
KS-6,3-25	6 300	25	2	475±9	27	» »	70
KS-6,3-37,5	6 300	37,5	3	475±9	27	» »	70
KS-10,5/$\sqrt{3}$-25	10 500/$\sqrt{3}$	25	2,16	530±11	27	» »	70
KS-10,5/$\sqrt{3}$-37,5	10 500/$\sqrt{3}$	37,5	3,24	530±11	27	» »	70
KS-10,5-25	10 500	25	0,72	530±11	27	» »	70
KS-10,5-37,5	10 500	37,5	1,08	530±11	27	» »	70
KSA-0,22-6	220	6	395	475±9	29	Monofásico o trifásico**	70
KSA-0,22,8	220	8	526	475±9	29	Lo mismo	71
KSA-0,38-18	380	18	397	475±9	29	» »	71
KSA-0,38-25	380	25	551	475±9	29	» »	71

Continuación de la tabla 45

Tipo de condensador	Voltaje, V	Potencia, kVAr	Capacidad a 20° C, μF	Altura H, mm	Peso, kg	Modo de ejecución	Número de la figura
KSA-0,5-18	500	18	229	475±9	29	Lo mismo	71
KSA-0,66-20	660	20	146	475±9	29	» »	71
KSA-0,66-25	660	25	183	475±9	29	» »	71
KSA-1,05-25	1 050	25	72,0	475±9	27	Monofásico	70
KSA-1,05-37,5	1 050	37,5	108,3	475±9	27	Lo mismo	70
KSA-3,15/$\sqrt{3}$-25	3 150/$\sqrt{3}$	25	24	475±9	27	» »	70
KSA-3,15/$\sqrt{3}$-37,5	3 150/$\sqrt{3}$	37,5	36,1	475±9	27	» »	70
KSA-31,5-25	3 150	25	8	475±9	27	» »	70
KSA-3,15-37,5	3 150	37,5	12	475±9	27	Monofásico	70
KSA-6,3/$\sqrt{3}$-25	6 300/$\sqrt{3}$	25	6	520±11	27	Lo mismo	70
KSA-6,3/$\sqrt{3}$-37,5	6 300/$\sqrt{3}$	37,5	9	520±11	27	» »	70
KSA-6,3-25	6 300	25	2	520±11	27	» »	70
KSA-6,3-37,5	6 300	37,5	3	520±11	27	» »	70
KSA-10,5/$\sqrt{3}$-35	1 050/$\sqrt{3}$	35	2,16	556±12	27	» »	70
KSA-10,5/$\sqrt{3}$-37,5	1 050/$\sqrt{3}$	37,5	3,24	556±12	27	» »	70
KSA-10,5-25	1 050	25	0,72	556±12	27	» »	70
KSA-10,5-37,5	1 050	37,5	1,08	556±12	27	» »	70
KS2-0,22-12	220	12	790	726±7	56	Monofásico o trifásico	72
KSA-0,22-16	220	16	1 052	726±7	56	Lo mismo	73
KS2-0,38-36	380	36	794	726±7	56	» »	73
KS2-0,38-50	380	50	1 102	726±7	56	» »	73
KS2-0,5-36	500	36	458	726±7	56	» »	73
KS2-0,66-40	660	40	292	740±7	56	» »	73
KS2-0,66-50	660	50	366	740±7	56	» »	73
KS2-1,05-50	1 050	50	144	740±7	54	Monofásico	72
KS2-1,05-75	1 050	75	217	740±7	54	Lo mismo	72
KS2-3,15/$\sqrt{3}$-50	3 150/$\sqrt{3}$	50	48	760±8	54	» »	72
KS2-3,15/$\sqrt{3}$-75	3 150/$\sqrt{3}$	75	72,2	760±8	54	» »	72

KS2-3,15-50	3 150	50	16	760±8	54	Lo mismo	72
KS2-3,15-75	3 150	75	24	760±8	54	» »	72
KS2-6,3/$\sqrt{3}$-50	6 300/$\sqrt{3}$	50	12	790±9	54	» »	72
KS2-6,3/$\sqrt{3}$-75	6 300/$\sqrt{3}$	75	18	790±9	54	» »	72
KS2-6,3-50	6 300	50	4	790±9	54	» »	72
KS2-6,3-75	6,3	75	6	790±9	54	» »	72
KS2-10,5/$\sqrt{3}$-50	10,5/$\sqrt{3}$	50	4,32	845±11	54	» »	72
KS2-10,5/$\sqrt{3}$-75	10 5/$\sqrt{3}$	75	6,48	845±11	54	» »	72
KS2-10,5-50	10,5	50	1,44	845±11	54	» »	72
KS2-10,5-75	10,5	75	2,16	845±11	54	» »	72
KS2A-0,22-12	220	12	790	790±9	58	Monofásico o trifásico	72
KS2A-0,22-16	220	16	1 052	790±9	58	Lo mismo	70
KS2A-0,38-36	380	36	794	790±9	58	» »	70
KS2A-0,38-50	380	50	1 102	790±9	58	» »	70
KS2A-0,5-36	500	36	458	790±9	58	» »	70
KS2-0,66-40	660	40	292	790±9	58	» »	70
KS2A-0,66-50	660	50	366	790±9	58	» »	70
KS2-1,05-50	1 050	50	144	790±9	54	Monofásico	72
KS2A-1,05-75	1 050	75	217	790±9	54	Lo mismo	72
KS2A-3,15/$\sqrt{3}$-50	3 150/$\sqrt{3}$	50	48	790±9	54	» »	72
KS2A-3,15/$\sqrt{3}$-75	3 150/$\sqrt{3}$	75	72,2	790±9	54	» »	72
KS2A-3,15-50	3 150	50	16	790±9	54	» »	72
KS2A-3,15-75	3 150	75	24	790±9	54	» »	72
KS2A-6,3/$\sqrt{3}$-50	6 300/$\sqrt{3}$	50	12	825±10	54	» »	72
KS2A-6,3/$\sqrt{3}$-75	6,300/$\sqrt{3}$	75	18	825±10	54	» »	72
KS2A-6,3-50	6 300	50	4	825±10	54	» »	72
KS2A-6,3-75	6 300	75	6	825±10	54	» »	72
KS2A-10,5/$\sqrt{3}$-50	10 500/$\sqrt{3}$	50	4,32	871±12	54	» »	72
KS2A-10,5/$\sqrt{3}$-75	10 500/$\sqrt{3}$	75	6,48	871±12	54	» »	72
KS2A-10,5-50	10 500	50	1,44	871±12	54	» »	72
KS2A-10,5-75	10 500	75	2,16	871±12	54	» »	72

* Los condensadores están destinados a funcionar a temperaturas del ambiente de no más de 40° C y de no menos de 40° C, a alturas de no más de 1000 m respecto al nivel del mar y a humedad del ambiente de no más de 80% (se refiere a los condensadores: KM; KM2; KS y KS2).

** Los condensadores de ejecución trifásica se conectan en triángulo.

Tabla 46

Clasificación de los condensadores

Designación de los grupos de los condensadores	CTC por 1° C dentro del intervalo de 20 a 85° C	Variación de la capacidad, a temperaturas dentro del intervalo normal de funcionamiento, respecto de la capacidad a 25±10° C, %
P120	$+(120\pm30)\cdot10^{-6}$	±1,5
P60	$+(60\pm30)\cdot10^{-6}$	±1,0
M47	$-(47\pm30)\cdot10^{-6}$	±1,0
M75	$-(75\pm30)\cdot10^{-6}$	1,0
M150	$-(150\pm30)\cdot10^{-6}$	±2,0
M750	$-(750\pm100)\cdot10^{-6}$	±10
M1300	$-(1300\pm200)\cdot10^{-6}$	±20

siete grupos (véase la tabla 46), diferenciándose entre sí por el coeficiente de temperatura de la capacidad (CTC). Los condensadores

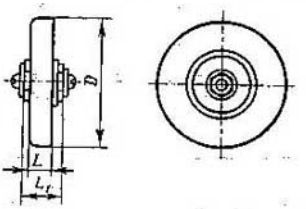


Fig. 74. Condensador plano en forma de disco, de cerámica para alto voltaje

están calculados para emplearlos a temperaturas de ambiente desde −60 hasta +150° C (hasta + 100° C para condensadores del grupo

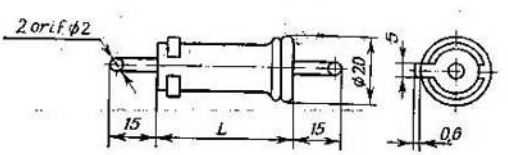


Fig. 75. Condensador tubular de cerámica para alto voltaje y potencia reactiva de 2 a 2,5 kVar

M750), a una humedad relativa no mayor del 98% (a 40° C) y a presión del ambiente no menor de 5 mm Hg.

En las figuras 74-77 están presentados los condensadores cerámicos de disco (planos), tubulares y de recipientes.

En las tablas 47-49 se exhiben las características eléctricas y dimensiones fundamentales de los condensadores cerámicos de alto voltaje con capacidad no menor de 100 μμF.

Tabla 47

Características eléctricas y dimensiones fundamentales de los condensadores de cerámica de disco K 15U-1

Voltaje nominal		Capacidad nominal pF*	Tolerancia admisible de la capacidad, %	Potencia reactiva nominal, kilovar	Dimensiones fundamentales (según la fig. 74), mm**			Peso (no más de), g
de corriente continua, kV	de alta frecuencia, kV				D	L	L_1	
4	3	470	±20	17	45	7,1	14	50
4	3	1 000		27	63	7,1	14	100
4	3	2 200		40	90	7,1	19	180
4	3	4 700		65	125	7,1	19	250
4	3	10 000		90	180	7,1	27	600
4	3,5	100	±10 ±20	4	18	8,0	18	20
4	3,5	150		6	25	8,0	15	25
4	3,5	220		8	31,5	8,0	15	30
4	3,5	330		8	31,5	8,0	15	30
8	5	100	±20	50	90	7,1	19	150
8	5	220		90	125	7,1	19	300
8	5	470		150	180	7,1	27	500
8	6	100	±10 ±20	7	25	14	19	40
8	6	150		7	31,5	14	21	50
8	6	1 000	±20	40	90	12,5	22,5	450
8	6	2 200	±20	75	125	12,5	22,5	550
8	6	4 700		115	180	12,5	30	1 000
12	10	100	±10	9	31,5	22,4	27	60
16	10	100	±20	130	125	13,2	22,5	500
16	10	220		225	180	13,9	30,5	1 000
16	12	1 000		90	125	21,2	29	1 300
16	12	2 200		145	180	21,2	37	1 800
20	14	470		40	63	19,0	23	180

*Se fabrican también condensadores para voltaje de 4 kV (de corriente continua) con capacidad desde 4,7 hasta 68 pF, condensadores para voltaje de 12 kV (de corriente continua) con capacidad desde 1,5 hasta 68 pF, y condensadores para voltaje de 12 kV (de corriente continua) con capacidad desde 1 hasta 68 pF.

**Las tolerancias del diámetro están dentro de los límites de +1,5 a −1 (D hasta 90 mm) y +2,4 a −2 (D más de 90 mm), las variaciones del ancho se encuentran dentro de los límites de+1 a −0,5 mm (L hasta 7,1) y de ±1 mm (L hasta 14 mm). Las variaciones de la dimensión L_1 se hallan dentro de los límites de ±1 mm (L_1 hasta 14 mm) y de ± mm (L_1 más de 14 mm).

Características eléctricas y dimensiones fundamentales de los condensadores tubulares de cerámica K15U-2

Voltaje nominal		Capacidad nominal, pF	Tolerancia admisible de la capacidad, %	Potencia reactiva nominal, kvar	Número de la figura	Dimensiones fundamentales, mm			Peso (no más de), g
de corriente continua, kV	de alta frecuencia, kV					*D**	*L***	*H****	
5	2	100	±10 ±20	2	75	—	30	—	30
5	2	120	±10	2,5		—	40	—	35
5	2	150	±10 ±20	2,5		—	40	—	35
5	2	220	±10 ±20	2		—	30	—	30
5	2	270	±10	2		—	30	—	30
5	2	330	±10 ±20	2,5		—	40	—	35
5	2	390	±10	2		—	30	—	30
5	2	470	±10 ±20	2		—	30	—	30
5	2	560	±10	2,5		—	40	—	35
5	2	680	±10 ±20	2,5		—	40	—	35
4	3	1 000	±20	15	76	40	63	66	250
4	3	2 200	±20	22		33,5	53	62	200
4	3	2 200	±20	25		53	85	79	350
4	3	3 300	±20	25		40	63	66	250
4	3	4 700	±20	45		45	75	71	300
4	3	4 700	±20	60		71	125	96	550
4	3	6 800	±20	50		53	85	79	400
4	3	10 000	±20	90		63	106	89	450
6,3	4	100	±20	25		33,5	53	60	100
6,3	4	150	±20	35		40	63	66	200
6,3	4	220	±20	40		45	75	71	300
6,3	4	330	±20	75		53	85	79	350
6,3	4	470	±20	100		63	106	89	400
6,3	4	680	±20	20		45	75	71	450
6,3	4	1 000	±20	25		53	85	79	600
6,3	4	1 500	±20	35		63	106	89	800
6,3	4	2 200	±20	40		71	125	93	1 000
6,3	4	3 300	±20	50		85	154	111	1 400
8	6	1 000	±20	15		37,5	53	62	250
8	6	1 500	±20	25		42,5	63	66	300
8	6	2 200	±20	35		50	75	74	400
8	6	3 300	±20	50		56	85	80	600
8	6	4 700	±20	65		67	106	91	900
8	6	6 800	±20	90		75	125	99	1 200
8	6	10 000	±20	125		90	150	114	1 400
8	6	15 000	±20	150		106	180	130	2 100
12	7	3 300	±20	90		75	125	98	1 000
12	8	470	±20	20		42,5	63	66	300

Continuación de la tabla 48

Voltaje nominal		Capacidad nominal, pF	Tolerancia admisible de la capacidad, %	Potencia reactiva nominal, kvar	Número de la figura	Dimensiones fundamentales, mm			Peso (no más de), g
de corriente continua, kV	de alta frecuencia, kV					*D**	*L***	*H****	
12	8	1 000	±20	28		42,5	63	66	300
12	8	1 000	±20	30		56	85	80	450
12	8	2 200	±20	60		75	125	99	750
12	8	4 700	±20	100		106	180	130	2 500
16	10	100	±20	50		50	75	74	300
16	10	150	±20	75		56	85	80	450
16	10	220	±20	100		67	106	91	600
16	10	330	±20	150		75	125	99	850
16	10	470	±20	200		90	150	114	1 100
16	10	680	±20	300		106	180	130	1 500
16	10	1 000	±20	45		75	125	99	1 100
16	10	1 500	±20	35		50	75	74	500
16	10	1 500	±20	65		90	150	114	1 600
16	10	2 200	±20	50		56	85	80	750
16	10	3 300	±20	65		67	106	91	1 000
16	10	4 700	±20	90		75	125	99	1 300
16	10	6 800	±20	125		90	150	114	1 600
16	10	10 000	±20	150		106	180	130	2 300
20	15	100	±20	75	76	63	85	83	600
20	15	150	±20	100		75	106	95	750
20	15	220	±20	150		85	125	105	1 000
20	15	330	±20	200		100	150	120	1 300
20	15	470	±20	300		112	180	132	1 750
20	15	680	±20	50		85	125	105	1 500
20	15	1 000	±20	65		100	150	120	2 200
20	15	4 700	±20	150		112	180	133	3 200
25	20	330	±20	50		90	125	108	2 500
25	20	470	±20	65		100	150	118	3 000
25	20	680	±20	75		118	180	133	5 000
25	20	1 000	±20	100		132	212	147	6 500
25	20	1 500	±20	100		90	125	108	2 100
25	20	2 200	±20	125		100	150	118	2 700
25	20	3 300	±20	150		118	180	133	4 200
25	20	4 700	±20	200		132	212	147	5 100
30	25	100	±20	200		100	150	118	2 200
30	25	150	±20	300		118	180	133	3 500
30	25	220	±20	400		132	212	147	4 000

* Las tolerancias del diámetro se encuentran dentro de los límites: de ±1,5 a 2 mm (*D* es hasta de 40 mm) y ±3 a −2 mm (*D* es más de 40 mm).

** Las tolerancias de la longitud se encuentran dentro de los límites: de ±1,5 a +2 mm (*L* es hasta de 40 mm) y de +2,5 a 1,5 mm hasta de +3 a −2 mm (*L* es más de 40 mm).

*** Las tolerancias de la altura (*H*) son ±3 mm para todos los valores de *H*.

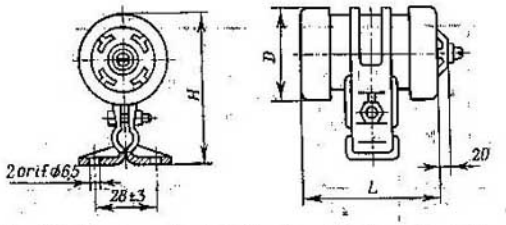


Fig. 76. Condensador tubular de cerámica para alto voltaje y potencia reactiva de 15 a 400 kVar

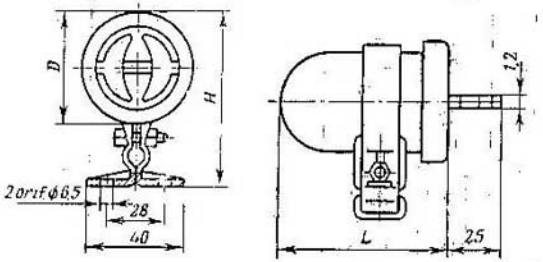


Fig. 77. Condensador de recipiente de cerámica para alto voltaje

Tabla 49

Características eléctricas y dimensiones fundamentales de los condensadores de cerámica de recipiente K15U-3

Voltaje nominal		Capacidad nominal*, pF	Potencia reactiva nominal, kvar	Dimensiones fundamentales (según la fig. 77), mm			Peso (no más de), g
de corriente continua, kV	de alta frecuencia, kV			D	L	H	
4	3	470	10	31,5	47,5	58	180
4	3	680	10	33,5	53,0	60	200
4	3	1 000	14	31,5	47,5	58	180
4	3	1 000	15	42,5	63,0	69	250
4	3	1 500	20	53,0	75,0	79	300
4	3	1 500	14	33,5	53,0	60	200
4	3	2 200	22	42,5	63,0	69	250
4	3	3 300	28	53,0	75	79	300
6,3	4	100	25	42,5	63	69	200
6,3	4	1 500	30	53,0	75	79	280
6,3	4	2 200	28	53,0	75	79	400
8	5	330	10	31,5	47	58	210
8	5	470	12	33,5	53	60	250
8	5	680	15	42,5	63	69	300
8	5	1 000	20	53,0	75	79	400
8	6	220	10	31,5	47,5	58	250
8	6	470	14	31,5	47,5	58	200

*La tolerancia de la capacidad es ±20%.

Capítulo III

Materiales y artículos conductores

§ 36. *Propiedades de los materiales conductores*

Al grupo de materiales conductores pertenecen los metales y sus aleaciones. Los metales puros son de pequeña resistividad ($\rho = 0,0150$-$0,105$ ohm·mm²/m). El mercurio es una excepción, la resistividad del cual es de $\rho = 0,943$—$0,952$ ohm·mm²/m). Las aleaciones poseen mayores valores de resistividad ($\rho = 0,30$—$1,8$ ohm·mm²/m).

Los metales puros se usan en la fabricación de alambres para enrollar y montaje, cables, etc. Sin embargo las aleaciones conductoras en forma de alambres y cintas se usan para reóstatos, resistencias adicionales, potenciómetros, etc.

Entre las aleaciones de elevada resistividad destacamos un grupo de materiales conductores refractarios resistentes a la oxidación en condiciones de altas temperaturas (850—1200° C). Las aleaciones conductoras y resistentes a altas temperaturas se usan en los dispositivos calentadores eléctricos y reóstatos.

Los metales puros además de su baja resistividad poseen buena plasticidad, o sea pueden estirarse en alambres finos (hasta 0,01 mm), cintas (hasta espesores de 0,01 mm) y pueden laminarse en hojas finas con espesores menores de 0,01 mm. Las aleaciones de metales, en comparación con los metales puros, son de inferior plasticidad, pero más elásticos y poseen mayor resistencia mecánica. La particularidad característica de todos los materiales conductores metálicos consiste en que su conductividad eléctrica es de origen electrónico. La resistividad de todos los conductores metálicos aumenta al elevar la temperatura, y también aumenta como resultado del maquinado que provoca deformaciones remanentes en el metal. Resulta necesario recurrir a la elaboración en frío (laminación, trefilado) para conseguir artículos de elevado límite de resistencia a la rotura, por ejemplo, para fabricar cables de líneas aéreas, troles, etc. Para devolver a los conductores metálicos deformados su valor anterior de resistividad, éstos son sometidos a tratamiento térmico, recocido sin acceso de oxígeno. En las tablas 50-51 se exhiben las características fundamentales de los metales y aleaciones, que ampliamente se usan en la electrotecnia.

Material	Densidad, g/cm³	Punto de fusión, °C	Límite de resistencia a la tracción**, kgf/mm²	Resistividad eléctrica a 20° C, ohm·mm²/m	Coeficiente de temperatura de la resistencia a 20° C, 1/°C
Aluminio	2,69-2,70	657-660	7,5-18	0,0265-0,0295	0,00431-0,00439
«Aldrei»	2,70	110	30-37	0,0299-0,0330	0,00360-0,00380
Bronce	8,2-8,9	890-1150	30-135	0,0195-0,180	0,00049-0,0018
Tungsteno	18,0-19,3	3370-3400	200-400	0,053-0,055	0,0041-0,0050
Hierro	7,875	1534-1538	25-30	0,099-0,105	0,005-0,006
Oro	19,25-19,32	1063	13-15	0,0220-0,0235	0,00365-0,00387
Kovar	8,29	1450-1460	60-63	0,49	—
Latón	8,5-8,6	770-940	30-60	0,066-0,108	0,0027-0,0028
Cobre	8,71-8,94	1083	25-40	0,01750-0,0182	0,00411-0,00420
Molibdeno	9,7-10,3	2570-2625	80-250	0,048-0,054	0,00473-0,00512
Monel-metal	8,8	1350	45-50	0,42	0,0019
Níquel	8,8-8,9	1452	60-70	0,0683-0,0725	0,00680
Plomo	11,35	327,4	0,98-1,6	0,217-0,227	0,0038-0,0041
Plata	10,5	960,5	15-30	0,0150-0,0162	0,0034-0,0038
Acero	7,87	1400-1530	70-175	0,103-0,137	0,0057-0,0062
Zink	6,86-7,14	419-428	11-29	0,0535-0,0625	0,0039-0,0041

* Para expresar la densidad, el límite de resistencia a la tracción, la conductividad 10^7, 10^2 y $4{,}187 \cdot 10^3$, respectivamente.

** Los valores mayores del límite de resistencia a la tracción y de la resistividad

Tabla 50

de los materiales conductores*

Coeficiente de conductividad térmica, W/cm° C	Calor específico, kcal/kgf° C	Coeficiente de temperatura de la dilatación lineal (20°—100° C), 1/°C	Campo de aplicación
2,090-2,100	0,2081-0,2250	0,000023	Se usa para la fabricación de alambres y barras
2,01-2,03	—	0,000023	Aleación a base de aluminio, se usa para la fabricación de alambres
0,625-1,05	0,0952-0,2235	$(1,5 \div 1,8) \times 10^{-5}$	Se usa para la fabricación de alambres, contactos, y electrodos
0,92-1,08	0,0337	0,0000043	Se usa para la fabricación de contactos y electrodos
0,708-0,710	0,11-0,02	$(1,1 \div 1,2) \times 10^{-5}$	Se usa para la fabricación de alambres y barras
2,92-3,12	0,310	0,0000144	Se usa para la fabricación de contactos (frecuentemente como la aleación con plata)
0,167	—	$(4,4 \div 5,7) \times 10^{-6}$	Aleación de hierro-níquel-cobalto. Se usa para la fabricación de entradas aleadas con vídreo
0,84-1,08	—	$(1,8 \div 2,0) \times 10^{-5}$	Se usa para la fabricación de contactos, electrodos, bornes
3,93-4,10	0,0942-0,0985	0,0000170	Se usa para la fabricación de alambres, barras, contactos
1,458	0,062	0,0000040	Se usa para la fabricación de contactos y electrodos
0,25	—	$1,1 \cdot 10^{-5}$	Aleación resistente a la corrosión, a base de cobre, níquel y hierro
0,58-0,62	0,106	0,0000131	Se usa para recubrir los electrodos y bornes, fabricar espirales para los calentadores de hasta 800° C
0,336-0,347	0,031	0,0000292	Se usa para la fabricación de fusibles, placas de acumuladores, recubrimientos protectores de los cables y demás
4,18-4,22	0,055	0,000019	Se usa para la fabricación de contactos, lámina fina y alambres
0,45-0,48	0,120	0,000011	Se usa para la fabricación de alambres y barras
1,10-1,13	0,092	0,000032-0,000039	Se usa para la fabricación de contactos y recubrimientos protectores de los cables de acero y armaduras

térmica y el calor específico en SI, se debe multiplicar los valores de la tabla por 10^3.
eléctrica se refieren a artículos conductores estirados en duro (alambres, barras y otros).

Material	Densidad, g/cm³	Punto de fusión, °C	Límite de resistencia a la tracción**, kgf/cm²	Resistividad eléctrica a 20° C ohm·mm²·m	Coeficiente de temperatura de la resistencia a 20° C, 1/° C
Alumel	8,4	1448-1452	55-64	0,260-0,350	$4 \cdot 10^{-3}$
Constantán	8,9	1260-1270	40-70	0,45-0,52	$(2 \div 5)\ 10^{-5}$
Copel	8,99	1250	60-75	0,48-0,55	$(1 \div 2)\ 10^{-4}$
Manganín	8,4	950-1100	45-70	0,42-0,52	$(3 \div 10)\ 10^{-5}$
Plata alemana	8,7	1080	35-60	0,30-0,42	$(25 \div 36)\ 10^{-5}$
Tipo ferronicromo (J15N60) ost Fe	8,2	1370-1380	65-75	1,02-1,11	$(13 \div 15)\ 10^{-5}$
Tipo nicromo (J20N80)	8,4	1380-1390	65-75	1,00-1,12	$(13 \div 15)\ 10^{-5}$
Tipo nicromo (J20N80T)	8,25	1400-1450	65-75	1,17-1,22	$(12 \div 13)\ 10^{-5}$
Tipo nicromo (J20N80TZ)	8,2 ÷ 8,3	1400-1450	65-75	1,27	$(12 \div 13)\ 10^{-5}$
Tipo fejral (J13Iu4)	7,0-7,2	1450-1470	60-65	1,26-1,30	$(15 \div 18)\ 10^{-5}$
Tipo fejral (0J23Iu5)	6,9-7,0	1490-1510	70-75	1,37	$(4 \div 5)\ 10^{-5}$
Tipo fejral (0J23Iu5A)	7,0-7,2	1490-1510	70-75	1,35	$(4 \div 5)\ 10^{-5}$
Tipo fejral (0J27Iu5A)	7,2-7,4	1480-1500	65-70	1,42	$(5 \div 6)\ 10^{-5}$
Cromel	8,70-8,72	1450	80-90	0,66	$(5 \div 6)\ 10^{-4}$
Hierro fundido (no magnético)	6,6-7,4	1200-1210	12-32	1,4-1,5	$(9 \div 10)\ 10^{-4}$

* Para expresar la densidad y el límite de resistencia a la tracción en SI se debe mul
** Los valores mayores de la resistencia a la tracción y de la resistividad eléctrica se

Tabla 51

conductoras de alta resistencia

Coeficiente de dilatación lineal, 1/° C	Temperatura máxima de servicio, °C	F.e.m. en termopar con cobre mkV/° C	Campo de aplicación
$(2,3 \div 3,9)\ 10^{-5}$	900-1000	—	Se usa como termopar (en par con alambre de cromel)
$(1,2 \div 1,4)\ 10^{-5}$	500	39-40	Se usa para fabricación de resistencias de los instrumentos de baja precisión, de reóstatos y termopares (en par con alambre de cobre)
$1,56 \cdot 10^{-5}$	500-600	45-47	Se usa para termopares (en par con alambre de cromel o de cobre)
$(1,8 \div 2,0)\ 10^{-5}$	250-300	0,9-1,0	Se usa para fabricación de resistencias patrones e instrumentos de alta clase de precisión
$(1,8 \div 2,2)\ 10^{-5}$	200-250	16-20	Se usa para fabricación de reóstatos
$(1,3 \div 1,4)\ 10^{-5}$	900-1000	—	Se usa en hornos de laboratorios y en industriales, y para reóstatos
$(1,3 \div 1,4)\ 10^{-5}$	1000-1100	—	Se usa en hornos de laboratorios y en industriales, y para reóstatos
$(1,4 \div 1,5)\ 10^{-5}$	1000-1100	—	Lo mismo
$(1,4 \div 1,5)\ 10^{-5}$	1100-1150	—	Se usa en hornos de laboratorios y en industriales
$(1,3 \div 1,4)\ 10^{-5}$	800-850	—	Se usa en hornos de laboratorios y en residenciales
$(1,4 \div 1,5)\ 10^{-5}$	1200	—	Se usa en hornos de laboratorios y en industriales
$(1,4 \div 1,5)\ 10^{-5}$	1300	—	Lo mismo, pero con mayor duración de servicio
$(1,4 \div 1,5)\ 10^{-5}$	1100-1300	—	Lo mismo
$(1,5 \div 1,6)\ 10^{-5}$	900-1000	21-23	Se usa para fabricación de termopares (en par con alambre de alumel y de copel)
$(1,1 \div 1,2)\ 10^{-5}$	600-700	—	Se usa para fabricación de resistencias de los reóstatos de carga, armazones de las máquinas, bridas de los aisladores de paso y otros)

tiplicar los valores de la tabla por 10^3 y 10^7, respectivamente.
refieren a artículos estirados en sólido (alambres, cintas, etc.).

§ 37. *Alambres para devanados con aislamiento de esmalte*

Tabla 52

Alambres de cobre para devanados con aislamiento de esmalte

Tipo de alambre	Diámetro del hilo (sin aislamiento), mm	Característica del alambre	Espesor del aislamiento por un lado, mm	Campo de aplicación
PEL	0,02-2,44	Aislado con esmalte a base de aceite-resina	0,004-0,032	Se usa para los devanados de las máquinas eléctricas, aparatos e instrumentos que trabajan a temperaturas hasta de +105° C
PEV-1	0,02-2,44	Aislado con esmalte muy resistente, a base de acetato de polivinilo	0,004-0,025	Lo mismo
PEV-2	0,05-2,44	Lo mismo, pero con el aislamiento engrosado	0,006-0,035	» »
PEM-1	0,06-2,44	Aislamiento con esmalte muy resistente, a base de acetato de polivinilo	0,01-0,04	» »
PEM-2	0,06-2,44	Lo mismo, pero con el aislamiento engrosado	0,0125-0,0425	» »
PEBDch	0,014	Aislado con esmalte muy resistente, a base de acetato de polivinilo con una capa aglutinante de barniz a base de butirato de polivinilo	0,008	Se usa para fabricación de bobinas de los relojes de balance eléctricos. El alambre puede ser utilizado a temperaturas hasta de +105° C
PEVTs	1,0-1,20	Aislado con esmalte muy resistente, de color, a base de acetato de polivinilo	0,05	Se usa en los equipos de los tractores a temperaturas hasta de +105° C
PEV-BZh	0,02-0,05	No magnético, aislado con esmalte muy resistente, a base de acetato de polivinilo	0,004-0,0075	Se usa para los devanados de los aparatos e instrumentos que funcionan a temperaturas hasta de +105° C, cuando se requiere que el número de conexiones magnéticas sea pequeño

PEVD	0,06-1,00	Aislado con esmalte muy resistente a base de acetato de polivinilo con una capa adicional termoplástica a base de acetato de polivinilo o de butirato de polivinilo	0,0165-0,0425	Se usa para fabricación de bobinas sin armazón que funcionan a temperaturas hasta de +105° C, cuando tienen lugar elevados esfuerzos mecánicos sobre el alambre durante el proceso de su fabricación y de su explotación
PELR-1	0,10-2,44	Aislado con esmalte muy resistente, a base de poliamida	0,01-0,04	Se usa para los devanados de las máquinas eléctricas, los aparatos e instrumentos que funcionan a temperaturas hasta de +105° C, cuando tienen lugar elevados esfuerzos mecánicos sobre el alambre durante el proceso de su fabricación y de su explotación
PELR-2	0,10-2,44	Lo mismo, pero con el aislamiento engrosado	0,0125-0,045	Lo mismo
PEVKL	0,10-0,15	Aislado con esmalte muy resistente, a base de caprón	0,01-0,0115	Se usa para los davanados de los aparatos e instrumentos que funcionan dentro de los edificios a temperaturas hasta de +105° C, cuando se requiere la posibilidad de estañar los terminales de los alambres sin quitar el aislamiento
PEVTL-1	0,02-1,56	Aislado con esmalte muy resistente y resistente al calentamiento, de poliuretano	0,003-0,035	Se usa para los devanados de las máquinas eléctricas, los aparatos e instrumentos que trabajan a temperaturas hasta de +120° C, cuando tienen lugar elevados esfuerzos mecánicos sobre el alambre durante el proceso de su fabricación y de su explotación y cuando se requiere la posibilidad de estañar los terminales del alambre sin haber quitado el aislamiento
PEVTL-2	0,02-1,56	Lo mismo, pero con el aislamiento engrosado	0,005-0,04	Lo mismo

Continuación de la tabla 52

Tipo de alambre	Diámetro del hilo (sin aislamiento), mm	Característica del alambre	Espesor del aislamiento por un lado, mm	Campo de aplicación
PEVTKL	0,06-0,35	Aislado con esmalte muy resistente de doble resistencia mecánica y al calentamiento, a base de resinas de poliuterano y poliamida	0,015-0,025	Se usa para el montaje de las matrices de las memorias y también para fabricación de devanados de las máquinas eléctricas, los aparatos o instrumentos que funcionan a temperaturas hasta de +120° C, en aquellos casos, cuando se requiere elevada resistencia mecánica del aislamiento y la posibilidad de soldar los terminales del alambre sin haber quitado el aislamiento
PETV	0,06-2,44	Aislado con esmalte de alta resistencia mecánica y al calentamiento, obtenida a base de poliésteres de ácido tereftálico	0,005-0,035	Se usa para los devanados de las máquinas eléctricas, los aparatos o instrumentos que funcionan a temperaturas hasta de +130° C, cuando existen elevados esfuerzos mecánicos sobre el alambre
PETV-R	0,02-0,20	Aislado con esmalte resistente al calentamiento y de alta resistencia mecánica, a base de poliésteres de ácido tereftálico, con el aislamiento sutilizado	0,005-0,0135	Lo mismo
PETP-155A	1,35-2,44	Aislado con esmalte muy resistente, a base de resinas amídicas de poliésteres	0,06	Se usa para los devanados de las máquinas eléctricas, los aparatos e instrumentos que funcionan a temperaturas hasta de +155° C, cuando existen elevados esfuerzos mecánicos sobre el alambre
PETVTR	0,07-0,35	Aislado con esmalte muy resistente y resistonte al calentamiento, a base de poliésteres de ácido tereftálico con una capa termoreactiva adicional, a base de resina epoxídica	0,0185-0,0325	Se usa para las bobinas sin armazón de los estatores y rotores que funcionan a temperaturas hasta do +130° C

PET-155B	0,06-2,44	Aislado con esmalte muy resistente, de alta resistencia al calentamiento, a base de poliésteres	0,0135-0,045	Se usa para los devanados de las máquinas eléctricas, los aparatos e instrumentos que funcionan a temperaturas hasta de +155° C, cuando tienen lugar elevados esfuerzos mecánicos sobre el alambre
PET-155A	0,06-2,44	Aislado con esmalte muy resistente, resistente al calentamiento, a base de poliésteres amídicos	0,0135-0,045	Lo mismo
PNET-IMID	0,10-2,44	Niquelado, aislado con esmalte muy resistente y resistente al calentamiento, a base de poliamida	0,0125-0,05	Se usa para los devanados de las máquinas eléctricas, los aparatos e instrumentos que funcionan a temperaturas hasta de +220° C, cuando existen elevados esfuerzos mecánicos sobre el alambre
PEF-1	0,05-1,00	Aislado con esmalte a base de una suspensión de ftoroplast-4	0,01-0,04	Se usa para los devanados de las máquinas eléctricas, los aparatos e instrumentos que funcionan a temperaturas hasta de +220° C, en aquellos casos en que se requiere alta estabilidad a la humedad y a los medios activos
PEF-2	0,02-1,00	Lo mismo, pero con el aislamiento engrosado	0,01-0,05	Lo mismo
PEVP	Espesor: 0,5-2,83 Anchura: 2,1-8,8	Alambres de sección rectangular (barras) aislados con esmalte muy resistente, viniflex	0,03-0,05	Se usa para los devanados de las máquinas eléctricas y aparatos que funcionan a temperaturas hasta de +105° C
PETVP	Las mismas dimensiones	Lo mismo, pero aislados con esmalte muy resistente y resistente al calentamiento a base de poliésteres	0,03-0,05	Lo mismo, pero a temperaturas hasta de +130° C

Tabla 53

Alambres de aluminio esmaltados para devanados

Tipo de alambre	Diámetro del hilo, (sin aislamiento), mm	Característica del alambre	Espesor de la capa de aislamiento (por un lado), mm	Campo de aplicación
PEVA	0,51 ÷ 2,44	Aislado con esmalte y barniz de alta resistencia (viniflex)	0,01-0,06	Se usa para los devanados de las máquinas, aparatos e instrumentos eléctricos. La temperatura máxima admisible es 105° C
PEVAT	0,08-0,59	Lo mismo, pero fabricado de alambre duro	0,01-0,06	Lo mismo
PETVA	0,38-2,44	Aislado con barniz poliotérico	0,03-0,07	Lo mismo, pero la temperatura máxima admisible es 130° C
PETA	0,08-2,44	Aislado con barniz poliamídico resistente al calentamiento	—	Lo mismo, pero la temperatura máxima admisible es 220° C

Tabla 54

Alambres esmaltados fabricados de aleaciones de alta resistencia para devanados

Tipo de alambre	Diámetro del hilo sin aislamiento, mm	Espesor de la capa del aislamiento (por un lado), mm	Característica gereral
PEMM	0,05-1,0	0,008-0,04	Alambre de manganina blanda (recocida), recubierto con esmalte oleoso de la clase A de resistencia al calentamiento (105° C)
PEMT	0,03-1,0	0,007 ÷ 0,04	Lo mismo, pero fabricado de alambre de manganina dura (no recocida)
PEVMM-1	0,05-0,80	0,008 ÷ 0,04	Alambre de manganina blanda, recubierto con esmalte muy resistente (viniflex), de la clase A de resistencia al calentamiento (105° C)
PEVMT-1	0,02-0,80	0,006 ÷ 0,04	Lo mismo, pero fabricado de manganina dura
PEVMM-2	0,05-0,80	0,01-0,05	Alambre de manganina blanda, recubierto con una capa engrosada de esmalte muy resistente, de la clase A de resistencia al calentamiento (105° C)

Continuación de la tabla 54

Tipo de alambre	Diámetro del hilo sin aislamiento*, mm	Espesor de la capa del aislamiento (por un lado), mm	Característica general
PEMS	0,05-0,8	0,01-0,05	Lo mismo, pero de manganina estabilizada
PEVMT-2	0,02-0,8	0,008-0,05	Lo mismo, pero fabricado de manganina dura
PEK	0,03-1,0	0,007-0,04	Alambre de constantán blando, recubierto con esmalte oleoso de la clase A de resistencia al calentamiento (105° C)
PEKF-K	0,2 ÷ 0,8	0,02-0,04	Lo mismo, pero con esmalte de cerámica y plástico fluorocarbúrico de la clase C de resistencia al calentamiento (250° C)
PEVKM-1	0,10-0,80	0,01-0,04	Alambre de constantán blando (recocido), recubierto con esmalte muy resistente (viniflex), de la clase A de resistencia al calentamiento
PEVKT-1	0,03-0,80	0,006-0,04	Lo mismo, pero fabricado de constantán duro
PEVKM-2	0,01-0,80	0,015-0,05	Alambre de constantán blando, recubierto con una capa engrosada de esmalte muy resistente (viniflex) de la clase A de resistencia al calentamiento (105° C)
PEVKT-2	0,03-0,80	0,008-0,05	Lo mismo, pero fabricado de constantán duro
PEVNJ-1	0,02-0,40	0,006-0,02	Alambre de nicromo, recubierto con esmalte muy resistente, de la clase A de resistencia al calentamiento (105° C)
PEVNJ-2	0,02-0,40	0,008-0,03	Lo mismo, pero recubierto con una capa engrosada de esmalte muy resistente
PENJ	0,03-0,40	0,007-0,02	Lo mismo, pero recubierto con esmalte oleoso, de la clase A de resistencia al calentamiento (105° C)
PETVNJ	0,03-0,40	0,005-0,02	Alambre de nicromo, recubierto con esmalte muy resistente, de elevada resistencia al calentamiento (130° C)
PETVKM	0,10-0,50	0,008-0,02	Alambre de constantán blando (recocido), recubierto con esmalte muy resistente, de la clase B de resistencia al calentamiento (130° C)
PETVKT	0,03-0,50	0,005-0,02	Lo mismo, pero fabricado de constantán duro

* El surtido de diámetros de los alambres para devanados con aislamiento de esmalte es: 0,02; 0,025; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,10; 0,12; 0,15; 0,16; 0,18; 0,20; 0,22; 0,25; 0,30; 0,35; 0,36; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,63; 0,65; 0,70; 0,75; 0,80.

§ 38. *Alambres con aislamiento de fibra y de esmalte y fibra para devanados*

Tabla 55

Alambres para devanados de cobre con aislamiento de fibra

Tipo de alambre	Diámetro del hilo sin aislamiento, mm	Espesor de la capa de aislamiento (por un lado), mm	Característica del alambre
PB	Redondos, de diámetro: 1,0—5,2	0,15-2,9	Alambre aislado con varias capas de papel para cables
	Rectangulares:		
	a = 0,9—5 b = 2,1—22,0	0,28-2,96	
PBU	Rectangulares:		Lo mismo, pero de mejores características mecánicas y eléctricas
	a = 2,44—5,5 b = 6,9—22,0	0,68-2,2	
PBBO	Rectangulares:		Alambre aislado con varias capas de papel para cables, y además con hilado de algodón en espiral
	a = 0,90—5,5 b = 2,1—14,5	0,22-2,9	
PBOO	Redondos, de diámetro:		Alambre aislado con una capa de hilado de algodón devanado y con trenzado de algodón
	1,0—5,2	0,43	
	a = 0,9—5,5 b = 2,1—14,5	0,44	
PPTBO	Rectangulares:		Alambre aislado con dos capas de película triacetática, una capa de papel telefónico devanado y además con una capa de hilado de algodón devanado
	a = 0,9—5,5 b = 2,1—14,5	0,22-0,25	
PPLBO	Rectangulares:		Alambre aislado con tres capas de pelílula de lavsán y además con una capa de hilado de algodón devanado
	a = 0,9—5,5 b = 2,1—14,5	0,19-0,26	
PLD	Redondos, de diámetro:		Alambre aislado con dos capas de fibra de lavsán devanada
	0,38—1,30	0,09-0,10	
PLBD	Redondos, de diámetro:		Alambre aislado con una capa de fibra de lavsán devanada y una capa de hilado de algodón devanado
	0,38—5,2	0,10-0,14	
	Rectangulares:		
	a = 0,9—5,5 b = 2,10—14,5	0,135-0,18	
PBO	Redondos, de diámetro:		Alambre aislado con una capa de hilado de algodón devanado
	0,20—2,10	0,05-0,07	
	Rectangulares:		
	a = 0,83—5,5 b = 2,10—14,5	0,07-0,115	
PBD	Redondos, de diámetro: 0,38-5,2		Alambre aislado con dos capas de hilado de algodón devanado
	Rectangulares:		
	a = 0,9-5,5	0,11-0,165	
	b = 2,1-14,5	0,135-0,22	

Continuación de la tabla 55

Tipo de alambre	Diámetro del hilo sin aislamiento, mm	Espesor de la capa de aislamiento (por un lado), mm	Característica del alambre
PSD	Redondos, de diámetro: 0,31-5,2	0,11-0,165	Alambre aislado con dos capas de fibra vítrea devanada e impregnada con barniz termoestable de la clase *F* (155° C)
	Rectangulares: $a = 0,9-5,5$ $b = 2,1-12,5$	0,135-0,20	Lo mismo
PSD-M	Las mismas dimensiones	0,125-0,18 0,145-0,21	Lo mismo, pero con un barnizado adicional de la superficie del alambre
PSDK	Las mismas dimensiones	0,11-0,165 0,135-0,20	Alambre aislado con dos capas de fibra vítrea devanada e impregnada con barniz termoestable de la clase *H* (180° C)
PSDK-M	Las mismas dimensiones	0,11-0,165 0,135-0,20	Lo mismo, pero con un barnizado adicional de la superficie del alambre, de la clase *H* (180° C)
PSDT	Redondos, de diámetro: 0,31—2,1	0,09-0,115	Alambre aislado con dos capas de fibra vítrea fina devanada e impregnada con barniz termoestable, de la clase *F* (155° C)
PSDT-M	Las mismas dimensiones	0,10-0,125	Lo mismo, pero con un barnizado adicional de la superficie del alambre, de la clase *F* (155° C)
PSDKT	Redondos, de diámetro: 0,31—2,10	0,07-0,11	Alambre aislado con dos capas de fibra vítrea fina devanada e impregnada con barniz silicoorgánico, de la clase *H* (180° C)
	Rectangulares: $a = 0,9-4,4$ $b = 2,10-10,0$	0,11-0,13	
PSDKT-M	Las mismas dimensiones	0,07-0,11 0,11-0,13	Lo mismo, pero con un barnizado adicional de la superficie del alambre, de la clase *H* (180° C)

Tabla 56

Alambres de aluminio con aislamiento de fibra para devanados

Tipo del alambre	Diámetro del hilo sin aislamiento	Espesor de la capa de aislamiento (por un lado), mm	Característica del alambre
APBD	Redondos, de diámetro: 1,35—8,0	0,135-0,18	Alambre aislado con dos capas de hilado de algodón devanado
	Rectangulares: a=1,81—7,0 b=4,10—18,0	0,135-0,24	
APB	Las mismas dimensiones	0,15-2,9 0,225-2,47	Alambre aislado con varias capas de cintas devanadas de papel para cables
APBBO	Rectangulares: a=1,81—7,0 b=4,10—18,0	0,225-2,98	Alambre aislado con varias capas de papel para cables y además con hilado de algodón en espiral
APBOO	Redondos, de diámetro: 1,35—8,0	0,425	Alambre aislado con una capa de hilado de algodón devanado y un tronzado de algodón
	Rectangulares: a=1,81—7,0 b=4,10—18,0	0,44-0,455	
APLBD	Redondos, de diámetros: 1,35—8,0	0,115-0,145	Alambre aislado con una capa de fibra devanada de lavsán y con una capa de hilado de algodón devanado
	Rectangulares: a=1,81—7,0 b=4,10—18,0	0,135-0,24	
APSD	Redondos, de diámetro: 1,62—5,2	0,135	Alambre aislado con dos capas devanadas de fibra vítrea impregnada con barniz termoestable, de la clase F (155° C)
	Rectangulares: a=2,10—5,5 b=4,1—14,5	0,165-0,20	

Tabla 57

Alambres de cobre para devanados con aislamiento de esmalte y de fibra

Tipo de alambre	Diámetro del hilo sin aislamiento, mm	Espesor de la capa de aislamiento (sólo por un lado), mm	Característica del alambre
PELBO	0,38-2,1	0,0625-0,105	Alambre aislado con esmalte de aceite y con una capa devanada con hilado de algodón
PELShO	0,05-1,56	0,035-0,075	Alambre aislado con esmalte de aceite y con una capa de seda natural devanada

Continuación de la tabla 57

Tipo de alambre	Diámetro del hilo sin aislamiento, mm	Espesor de la capa de aislamienro (sólo por un lado), mm	Característica del alambre
PELShKO	0,05-2,10	0,035-0,078	Lo mismo, pero sobre la capa de esmalte de aceite tiene una capa de seda de caprón devanada
PELShKD	0,72-0,96	0,095	Alambre aislado con esmalte de aceite y con dos capas de seda de caprón devanada
PEVShO	0,2-1,5	0,035-0,09	Alambre aislado con esmalte de aceite y con una capa de seda natural devanada
PELLO	0,05-1,3	0,035-0,075	Alambre aislado con esmalte de aceite y con una capa de fibra de lavsán (dacrón) devanada
PEVLO	0,06-1,3	0,055-0,09	Alambre aislado con esmalte muy resistente y con una capa de fibra de lavsán (dacrón) devanada
PETLO	0,06-1,3	0,55-0,09	Alambre aislado con esmalte muy resistente y de alta resistencia al calentamiento, y con una capa de fibra de lavsán (dacrón) devanada
PEPLO	0,06-1,3	0,055-0,08	Lo mismo, pero se estaña sin quitar el aislamiento
PEPLOT	0,08-0,51	0,055-0,08	Lo mismo, pero con termotratado adicionalmente
PETSO	0,31-2,1	0,10-0,12	Alambre aislado con una capa de esmalte muy resistente y con una capa de fibra vítrea devanada, impregnada con barniz
PETSOT	0,31-2,1	0,087-0,11	Alambre aislado con esmalte resistente al calentamiento y con una capa de fibra vítrea devanada e impregnada con barniz resistente al calentamiento
PETKSOT	Redondo, de diámetros: 0,33—1,56 Rectangulares: $a = 0,83 \div 0,45$ $b = 2,1 \div 4,7$	0,07-0,08	Lo mismo, pero la fibra vítrea es más fina y el barniz es silicoorgánico, resistente al calentamiento de la clase H (180° C)
PETVSO	0,1-0,51	0,055-0,073	Alambre aislado con esmalte muy resistente y con una capa de fibra vítrea devanada, impregnada con barniz resistente al calentamiento de la clase F (155° C)
PNETSO	0,2-1,56	0,058-0,09	Alambre aislado con esmalte silicoorgánico resistente al calentamiento y con una capa de fibra vítrea fina devanada

Tabla 58

Conductores para devanados de aleaciones de alta resistencia con aislamiento de fibra y de esmalte y fibra

Tipo de conductor	Diámetro del conductor sin aislamiento, mm	Espesor de la capa de aislamiento (sólo por un lado), mm	Característica general
PShDMM	0,05-1,0	0,0622-0,085	Conductor de alambre de manganina blanda aislado con dos capas de seda natural devanada
PShDMT	0,05-1,0	0,0622-0,085	Lo mismo, pero de alambre de manganina dura
PEShOMM	0,05-1,0	0,425-0,085	Conductor de alambre de manganina blanda, aislado con esmalte y con una capa de seda natural devanada
PEShOMT	0,05-1,0	0,0425-0,085	Lo mismo, pero de alambre de manganina dura
PELOMM	0,2-1,0	0,05-0,06	Conductor de alambre de manganina blanda, aislado con esmalte de aceite y con una capa de fibra de lavsán (dacrón) devanada
PShDK	0,05-1,0	0,06-0,07	Conductor de alambre de constantán blando, aislado con dos capas de seda natural devanada
PEShOK	0,05-1,0	0,04-0,07	Conductor de alambre de constantán, aislado con esmalte de aceite y con una capa de seda natural devanada
PELOK	0,20-1,0	0,035-0,06	Lo mismo, pero sobre la capa de esmalte tiene una capa de fibra de lavsán (dacrón) devanada
PEVSOK	0,1-0,12	0,08	Conductor de constantán revestido con esmalte muy resistente, aislado con una capa de fibra vítrea devanada
PSDKNJ	0,1-0,6	0,12	Conductor de alambre de nicromo, aislado con dos capas de fibra vítrea devanadas
PEShONK	0,15	0,05	Conductor de níquel, aislado con esmalte a base de aceite—resina y con una capa de seda devanada

39. Barras y conductores desnudos de cobre y aluminio

Tabla 59

Surtido fundamental de los conductores desnudos de cobre y aluminio

Tipo	Sección del conductor, mm^2	Característica del conductor	Campo de aplicación
A	16-600	De alambres múltiples, colchado. Se fabrica de alambre de aluminio duro estirado del tipo AT	Se usa para las líneas aéreas de transporte de energía eléctrica

Continuación de la tabla 59

Tipo	Sección del conductor, mm²	Característica del conductor	Campo de aplicacion
AS	10-400	Lo mismo, pero con un núcleo de alambres de acero galvanizados (zincados)	Lo mismo, pero cuando se requiere elevada resistencia mecánica del conductor
ASU	120-400	Lo mismo, pero con un núcleo de acero reforzado	Lo mismo, pero cuando se requiere alta resistencia mecánica
ASO	150-700	Lo mismo, pero con un núcleo de acero, aliviado	Aliviado, de resistencia mecánica normal
M	4-400	Se fabrica de alambre de cobre duro estirado del tipo MT	
		De un alambre hasta secciones de 16 mm² y de alambres múltiples a partir de 25 mm²	Para las líneas aéreas de transporte de energía eléctrica
MGG	10-500	Lo mismo, pero de cobre blando del tipo MM	Conductor flexible de unión con contactos móviles
MGE	240; 300; 400; 500; 1000	Lo mismo, pero para mayor flexibilidad dentro del conductor se coloca un núcleo de hilado de cable	Lo mismo, pero para hornos eléctricos
MP	240 y 300	Conductor hueco de cobre, compuesto de alambres de perfil especial	Para las líneas de transporte de energía eléctrica de alto voltaje y para los tendidos de 220 y 380 V en estaciones y subestaciones
B	50-300	Colchado de alambres múltiples, de bronce	Para pasos de líneas de transporte de energía eléctrica
BS	185; 240; 300; 400	Colchado, de acero—bronce, compuesto de un núcleo de alambres de acero galvanizados y de alambres de bronce alrededor	Lo mismo, pero cuando se requiere elevada resistencia mecánica
TK	30; 40; 50; 65; 85 y 100	De cobre, de contacto, (para trole)	Para alimentar con energía eléctrica tomas de corriente móviles (deslizantes)
TF	Las mismas dimensiones	Lo mismo, pero de perfil especial	Lo mismo

Tabla 60

Barras de aluminio de sección rectangular, endurecidas

Dimensiones de los lados, mm	Sección de la barra, mm²	Peso de 1 m, kg	Dimensiones de los lados, mm	Sección de la barra, mm²	Peso de 1 m, kg
3 × 10	30	0,081	5 × 30	150	0,405
3 × 12	36	0,097	5 × 40	200	0,540
3 × 15	45	0,122	5 × 50	250	0,675

Continuación de la tabla 60

Dimensiones de los lados, mm	Sección de la barra, mm²	Peso de 1 m, kg	Dimensiones de los lados, mm	Sección de la barra, mm²	Peso de 1 m, kg
3 × 20	60	0,162	5 × 60	300	0,810
3 × 25	75	0,203	5 × 80	400	1,080
3 × 30	90	0,243	6 × 50	300	0,810
3 × 40	120	0,324	6 × 60	360	0,972
4 × 10	40	0,108	6 × 80	480	1,296
4 × 12	48	0,130	6 × 100	600	1,620
4 × 15	60	0,162	8 × 60	480	1.296
4 × 20	80	0,216	8 × 80	640	1,728
4 × 25	100	0,270	8 × 100	800	2,160
			8 × 120	960	2,592
4 × 30	120	0,324	10 × 60	600	1,620
4 × 40	160	0,432	10 × 80	800	2,160
			12 × 100	1200	3,24
			12 × 120	1400	3,888

Observaciones:

1. El límite de resistencia de las barras a la tracción es no menos de 12 kg/mm², siendo el alargamiento relativo no menos del 5%.
2. La resistividad eléctrica de las barras no es más de 0,0290 ohm·mm²/m.

Tabla 61

Barras de cobre de sección rectangular

Ancho, mm	Espesor, mm	Sección, mm²	Peso de 1 m, kg	Ancho, mm	Espesor, mm	Sección, mm²	Peso de 1 m, kg
16	11,0	175	1,57	25	14,0	349	3,11
16	12,5	199	1,77	25	16,0	399	3,55
16	14,0	223	1,95	25	18,0	449	4,00
16	16,0	255	2,27	25	20,0	499	4,45
20	10,0	199	1,77	25	25,0	624	5,55
20	11,0	219	1,95	30	6,0	179	1,60
20	12,5	249	2,24	30	6,5	194	1,72
20	14,0	279	2,48	30	7,0	209	1,85
20	16,0	319	2,84	30	8,0	239	2,12
20	18,0	359	3,20	30	9,0	269	2,39
20	20,0	399	3,55	30	10,0	299	2,65
25	8,0	199	1,77	30	11,0	329	2,93
25	9,0	224	2,00	30	12,5	374	3,33
25	10,0	249	2,24	30	14,0	419	3,73
25	11,0	274	2,44	30	16,0	479	4,26
25	12,5	311	2,78	30	18,0	539	4,80
30	20,0	599	5,34	50	4,5	224	2,00

Continuación de la tabla 61

Ancho, mm	Espesor, mm	Sección, mm²	Peso de 1 m, kg	Ancho, mm	Espesor, mm	Sección, mm²	Peso de 1 m, kg
30	25,0	749	6,62	50	5,0	249	2,24
30	30,0	899	8,0	50	5,5	274	2,44
32	6,0	191	1,70	50	6,0	299	2,65
32	6,5	207	1,84	50	6,5	324	2,88
35	5,0	174	1,56	50	7,0	349	3,11
35	5,5	192	1,70	50	8,0	399	3,55
35	6,0	209	1,86	50	9,0	449	4,00
35	6,5	227	2,01	50	10,0	499	4,45
35	8,0	279	2,48	50	11,0	549	4,89
35	10,0	349	3,11	50	12,5	624	5,55
35	12,5	436,6	3,89	50	14,0	699	6,22
35	20,0	699	6,22	50	16,0	799	7,11
40	4,0	159	1,42	50	18,0	899	8,00
40	4,5	179	1,60	50	20,0	999	8,89
40	5,0	199	1,77	55	4,0	219	1,95
40	5,5	219	1,95	55	4,5	247	2,23
40	6,0	239	2,12	55	5,0	274	2,44
40	6,5	259	2,31	55	5,5	302	2,68
40	7,0	279	2,48	55	6,0	329	2,93
40	8,0	319	2,84	55	6,5	357	3,17
40	9,0	359	3,20	55	7,0	384	3,41
40	10,0	399	3,55	55	8,0	439	3,81
40	11,0	439	3,81	55	9,0	494	4,39
40	12,5	499	4,45	55	10,0	549	4,89
40	14,0	559	4,98	55	12,5	687	6,11
40	16,0	639	5,69	55	16,0	879	7,82
40	18,0	719	6,40	55	20,0	1099	9,75
40	20,0	799	7,11	60	4,0	239	2,12
40	25,0	999	8,89	60	4,5	269	2,39
40	30,0	1199	10,65	60	5,0	299	2,67
45	4,0	179	1,60	60	5,5	329	2,93
45	4,5	202	1,80	60	6,0	359	3,20
45	5,0	224	2,00	60	6,5	389	3,47
45	5,5	246	2,23	70	7,0	419	3,73
45	6,0	269	2,39	60	8,0	479	4,26
45	6,5	292	2,60	60	9,0	539	4,81
45	7,0	314	2,80	60	10,0	599	5,34
45	8,0	359	3,20	60	12,5	749	6,67
45	9,0	404	3,60	60	16,0	959	8,53
45	10,0	449	4,00	60	20,0	1199	10,67
45	11,0	494	4,41	65	4,0	259	2,31
45	12,5	561	4,99	65	4,5	292	2,60
45	14,0	629	5,60	65	5,0	324	2,88

Continuación de la tabla 61

Ancho, mm	Espesor, mm	Sección, mm²	Peso de 1 m, kg	Ancho, mm	Espesor, mm	Sección, mm²	Peso de 1 m, kg
45	16,0	719	6,40	65	6,0	389	3,47
45	18,0	809	7,20	65	7,0	454	4,04
45	20,0	899	8,00	65	9,0	584	5,20
45	30,0	1349	12,0	65	10,0	649	5,78
50	4,0	199	1,77	65	12,5	812	7,23
65	16,0	1039	9,25	90	4,0	359	3,20
70	4,0	279	2,48	90	4,5	404	3,60
70	4,5	314	2,80	90	6,0	539	4,81
70	5,0	349	3,11	90	7,0	629	5,60
70	8,0	559	4,98	90	8,0	719	6,40
70	9,0	629	5,60	90	10,0	899	8,00
70	10,0	699	6,22	90	12,5	1124	9,97
70	12,5	874	7,78	100	4,0	399	3,55
70	16,0	1119	9,96	100	4,5	449	4,00
80	4,0	319	2,84	100	5,0	499	4,45
80	4,5	359	3,20	100	6,0	599	5,34
80	5,0	399	3,55	100	7,0	699	6,22
80	6,0	479	4,26	100	8,0	799	7,11
80	7,0	559	4,98	100	10,0	999	8,89
80	8,0	639	5,69	100	12,5	1249	11,12
80	10,0	799	7,11	100	8,0	959	8,51
80	12,5	999	8,89	120	10,0	1199	10,67

§ 40. *Conductores y cordones para montaje e instalaciones*

Los conductores para montaje se usan en los aparatos e instrumentos eléctricos (tabla 62).

Tabla 62

Surtido fundamental de los conductores de cobre para montaje

Tipo de conductor	Sección, mm²	Característica del conductor	Campo de aplicación
PMV	0,2-0,75	De un solo alambre, aislado plastificante de policloruro de vinilo, hidrófugo	Se usa para montaje rígido a elevada humedad, en instalaciones de 380 V de corriente alterna y de 500 V de corriente continua, dentro del intervalo desde —60 hasta +50° C y a la humedad de hasta 95%

Continuación de la tabla 62

Tipo de conductor	Sección, mm²	Característica del conductor	Campo de aplicación
PMOV	0,2-0,75	De un solo alambre, aislado con hilado de algodón devanado y con plastificante de policloruro de vinilo	Lo mismo
PMBG	0,2-0,75	Lo mismo, pero de alambres múltiples	Se usa para montaje rígido a humedad elevada, en instalaciones de 380 V de corriente alterna y 500 V de corriente contínua, dentro del intervalo de —60 hasta +50° C y a la humedad de hasta 95%
MGV	0,1-1,0	De alambres múltiples, aislado con plastificante de policloruro de vinilo, monoconductor	Lo mismo, y para el tendido hacia los acumuladores, a temperaturas dentro del intervalo de —50 a +70° C
MGVE	0,1-1,0	Lo mismo, pero apantallado	Lo mismo
MGVL	0,35-5,0	Lo mismo, pero con trenzado de hilado de algodón, barnizado	» »
MGVLE	0,35-2,0	Lo mismo, pero apantallado	» »
MGVSL	0,35-3,0	Lo mismo, pero aislado con plastificante de policloruro de vinilo, con trenzado de fibra vítrea, barnizado	» »
MGSLE	0,35-3,0	Lo mismo, pero apantallado	» »
MGSL	0,2-1,5	De alambres múltiples, aislado con dos capas de hilos de vídrio devanados y una capa trenzada, barnizado	Se usa para montaje fijo en instalaciones de hasta 127 V con aumento de temperatura elevado, dentro del intervalo de temperaturas de —60 a +90° C
MGSLE	0,2-1,5	Lo mismo, pero apantallado	Lo mismo, pero apantallado
MP	0,35-1,5	De un solo alambre, con aislamiento de goma	Se usa para montaje rígido a 380 V de corriente alterna y hasta 500 V de corriente contínua a temperaturas dentro del intervalo de —40 a +65° C
MRG	0,35-1,95	De alambres múltiples, con aislamiento de goma	Se usa para montaje rígido a 380 V de corriente alterna y hasta 500 V de corriente contínua, a temperaturas dentro del intervalo de —40 a +65° C, pero a la humedad elevada

Continuación de la tabla 62

Tipo de conductor	Sección, mm²	Característica del conductor	Campo de aplicación
MRGL	0,35-1,95	De alambres múltiples, con aislamiento de goma y trenzado de hilado de algodón, barnizado	Se usa para montaje rígido a 380 V de corriente alterna y hasta 500 V de corriente continua a temperaturas dentro del intervalo de —40 a +65° C, pero a la humedad elevada
MRGP	0,35-2,5	Lo mismo, pero con un trenzado impregnado en parafina	Lo mismo
MRGPE	0,35-1,5	Lo mismo, pero apantallado	» »
MRL	0,35-1,5	De un solo alambre con aislamiento de goma y trenzado de hilado de algodón, barnizado	» »
MRP	0,35-1,5	Lo mismo, pero con un trenzado impregnado en parafina	» »
MGTsSL	0,35-4	De alambres múltiples, con aislamiento película, con dos capas de fibra vítrea devanada, barnizado	Se usa para montaje rígido de los terminales de bobinas a voltajes de hasta 220 V de corriente alterna a temperaturas dentro del intervalo de —50 a +90° C
MGTsLE	0,35-4	Lo mismo, pero apantallado	Lo mismo
MShV	0,2-1,5	De un solo alambre, con aislamiento de seda devanada y de plastificante de policloruro de vinilo	Se usa para montaje fijo en el interior de los instrumentos y entre éstos a voltajes de hasta 1000 V a la humedad alta, a temperaturas dentro del intervalo de —50 a +70° C
MGShV	0,2-1,5	De alambres múltiples, con aislamiento de seda devanada y envoltura de policloruro de vinilo	Lo mismo
MGShVE	0,2-1,5	Lo mismo, pero apantallado	» »
MGShVEV	0,2-1,5	Lo mismo, pero con envoltura de policloruro de vinilo	» »
MShP	0,2-1,5	Monoconductor con aislamiento de fibra y de polietileno	» »
MGShP	0,2-1,5	Conductor flexible con aislamiento de fibra y de polietileno	» »
MGShPE	0,2-1,5	Lo mismo, pero apantallado	» »
MGTF	0,2-1,5	Flexible, de alambres múltiples con aislamiento resistente al calentamiento de plástico fluorocarbúrico	Se usa para montaje rígido a voltajes de hasta 250 V a temperaturas dentro del intervalo de —60 a +220° C

Los conductores para instalaciones se usan para distribuir la energía eléctrica en las redes de fuerza y alumbrado, y también para alimentar las instalaciones eléctricas industriales y de laboratorio (tablas 63, 64).

Tabla 63

Surtido fundamental de los conductores y cordones con aislamiento de goma para instalaciones

Tipo de conductor	Sección, mm²	Característica del conductor y del cordón	Campo de aplicación
PR	0,75-400 1,5-185[1]	Conductor de cobre con trenzado (forro) de hilado de algodón, impregnado con una composición antipútrida	Se usa en las redes de fuerza y alumbrado dentro y fuera de los edificios a tensión de hasta 660 V de corriente alterna (PR-1000) y de hasta 3000 V de corriente alterna (PR-3000) y en instalaciones de corriente continua a voltaje de hasta 1000 V
APR	2,5-400	Lo mismo, pero con el hilo de aluminio	Lo mismo, pero en instalaciones con voltaje nominal de 660 V de corriente alterna (APR-1000) y de corriente continua
APRV	2,5-6	Lo mismo, pero la envoltura exterior es de policloruro de vinilo	Lo mismo
PRG	0,75-400	Conductor flexible de cobre, con aislamiento de goma y trenzado (forro) de hilado de algodón impregnado con una composición antipútrida	Se usa para empalmar máquinas y aparatos eléctricos instalados dentro y fuera de los edificios, en instalaciones de hasta 660 V (PRG-1000) y hasta 3000 V (PRG-3000)
PRL	0,5-6	Conductor de cobre con aislamiento de goma y trenzado (forro) de hilado de algodón recubierto con barniz	Se usa en los circuitos secundarios, armarios y pizarras distribuidores a voltajes de hasta 660 V de corriente alterna y de 1000 V de corriente continua
PRGL	0,75-70	Lo mismo, pero flexible	Lo mismo, pero cuando se requiere flexibilidad del conductor
PRD	0,5-6	Conductor flexible de cobre, con aislamiento de goma y trenzado (forro) de hilado de algodón sin impregnar	Se usa para las redes de alumbrado en los edificios secos, en instalaciones con voltaje nominal de hasta 220 V
AR	0,5-0,75	Conductor de un solo hilo, de menor flexibilidad	Se usa para conexiones en las armaduras de alumbrado a voltaje nominal de hasta 220 V

Tipo de conductor	Sección, mm²	Característica del conductor y del cordón	Campo de aplicación
PRTO	1-500	Conductor, compuesto de alambres de cobre con aislamiento de goma, los cuales se encuentran dentro de un trenzado común de hilado de algodón impregnado con una composición antipútrida	Se usa en las redes de fuerza y alumbrado (colocados en tubos de acero y tubos flexibles metálicos), en instalaciones con voltaje de hasta 660 V de corriente alterna y de 1000 V de corriente continua y a voltaje de corriente alterna de hasta 2000 V (PRTO-2000)
APRTO	2,5-400	Lo mismo, pero los hilos aislados son de aluminio	Lo mismo
PRP	1-95	Conductor con aislamiento de goma, colocado en una coraza flexible de alambres de acero	Para tendidos abiertos en instalaciones con voltajes de hasta 660 V de corriente alterna y de hasta 1000 V de corriente continua
PRShP	1-95	Lo mismo, pero los hilos están introducidos en un tubo de goma común, cubierto con una coraza de alambres de acero	Lo mismo, y además en circuitos secundarios
DPRG	0,5-10	Dos hilos con aislamiento de goma y forro trenzado común de hilado de algodón impregnado en una composición antipútrida	Se usa para interconexiones en armaduras de alumbrado en locales húmedos y fuera de los edificios a voltajes de hasta 380 V
RKGM	0,75-95	Conductor flexible de cobre, el hilo está aislado con goma silicoorgánica resistente al calentamiento, la cual está cubierta con fibra vítrea devanada y además con trenzado de fibra vítrea, impregnadas con barniz silicoorgánico	Se usa para fabricación de terminales de los electromotores y los aparatos con temperaturas de servicio elevadas, hasta 180°, en las redes con tensión de hasta 380° C, tendidos al descubierto y colocados en tubos
ShR	0,5-1,5	Cordón de dos hilos de cobre flexibles con aislamiento de goma cubierto con un trenzado de hilado de algodón no impregnado	Se usa en las redes de alumbrado y para conexión de las tomas de corriente móviles con voltaje nominal de hasta 220 V
TPRF	1-10	Conductor de uno o varios hilos aislados con goma. El hilo individual o los hilos cableados están envueltos en tela engomada e introducidos en un forro metálico con costura	Se usa en las redes de fuerza y alumbrado en locales secos cuando existe la posibilidad de acciones mecánicas ligeras sobre el conductor. A tensiones de corriente alterna hasta 660 V y hasta 1000 V de corriente continua
ATPRF	2,5-4	Conductor con hilos de aluminio en un forro metálico con costura	Lo mismo

Continuación de la tabla 63

Tipo de conductor	Sección, mm²	Característica del conductor y del cordón	Campo de aplicación
APN	2,5-6	Conductor con hilos de aluminio y aislamiento de goma no inflamable	Para tendidos encerrados bajo el estucado a voltajes de hasta 660 V de corriente alterna y hasta 1000 V de corriente continua

Observación. Los conductores con secciones de 1,5 a 185 mm² se usan para tensiones de hasta 3000 V de corriente alterna.

Tabla 64

Surtido fundamental de los conductores con aislamiento de plástico para instalaciones

Tipo de conductor	Sección, mm²	Característica del conductor	Campo de aplicación
PV	0,75-95	Conductor de cobre aislado con plastificante de policloruro de vinilo	Redes de fuerza y alumbrado en el interior de los edificios a temperaturas no mayores de 40° C y en locales húmedos y muy húmedos y para circuitos secundarios hasta 660 V (voltaje alterno) y 1000 V (voltaje continuo)
APV	2,5-120	Lo mismo, pero de aluminio	Lo mismo
APP	2,5-120	Lo mismo, pero con aislamiento de polietileno	» »
PPV	0,75-4	Conductor plano con hilos de cobre situados paralelamente y encajados en aislamiento de polivinilo	» »
APPV	2,5-6	Lo mismo, plano con hilos de aluminio	» »
PPVS	0,75-4	Lo mismo, pero sin base divisora	Para tendidos encerrados de voltajes hasta 660 V de corriente alterna y hasta 1000 V de corriente continua
APPVS	2,5-6	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
PGV	0,75-95	Conductor flexible de cobre compuesto de alambres finos, aislado con plastificante de policloruro de vinilo	Redes de fuerza y alumbrado, y también para circuitos secundarios en las máquinas herramienta y mecanismos hasta 500 V (voltaje alterno) y 1000 V (voltaje continuo)
PP	0,5-0,95	Lo mismo, pero el hilo lleva aislamiento de polietileno	Lo mismo

Continuación de la tabla 64

Tipo de conductor	Sección, mm²	Característica del conductor	Campo de aplicación
UVG	1,5 25	Conductor flexible de cobre, aislado con plastificante de policloruro de vinilo	Para los trabajos en condiciones de obra (campo) a —50° C hasta +40° C y humedad elevada a tensiones de hasta 380 V de corriente alterna
UVOG	1,5-6,0	Lo mismo, pero con el hilo especialmente flexible	Lo mismo

§ 41. *Cables de potencia con aislamiento de papel y de goma*

En las tablas 65-67 se dan características fundamentales de los cables de fuerza ampliamente usables.

Tabla 65

Surtido fundamental de los cables de fuerza con aislamiento de goma

Tipo de cable	Número de hilos y sección, mm²	Particularidades de la construcción del cable	Campo de aplicación
SRG	(1-3)* 1,5-500	Con forro de plomo, no acorazado (sin envoltura)	Para tendidos en locales secos y húmedos, cuando no existen acciones mecánicas sobre el cable
ASRG	(1) 4-500	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
SRB	(2) 1-185	Con forro de plomo, acorazado con dos cintas de acero, pero por encima de la envoltura-blindaje hay otra envoltura exterior de hilado para cables impregnado	Para tendidos subterráneos y fuera de los edificios, cuando es necesario proteger el cable de acciones mecánicas
ASRB	(2) 4-185	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
SRBG	(3) 1-185	Con forro de plomo, acorazado con dos cintas de acero (sin envolturas)	Para tendidos en locales secos y húmedos, cuando es necesario proteger el cable de acciones mecánicas posibles
ASRBG	(3) 4-185	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
SRP	(2-3) 1-185	Con forro de plomo, acorazado con alambres planos de acero, pero por encima de la envoltura—blindaje hay otra envoltura exterior de hilado impregnado	Para tendidos subterráneos y fuera de los edificios, cuando es necesario proteger el cable de deterioros mecánicos y cuando existen esfuerzos tirantes sobre el cable

Continuación de la tabla 65

Tipo de cable	Número de hilos y sección, mm²	Particularidades de la construcción del cable	Campo de aplicación
ASRP	(2-3) 4-185	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
SRPG	(2-3) 1-185	Con forro de plomo, acorazado con alambres planos de acero galvanizados, sin envoltura exterior	Para tendidos en locales secos y húmedos, cuando es necesario proteger el cable de posibles acciones mecánicas y cuando existen esfuerzos tirantes sobre el cable
ASRPG	(2-3) 4-185	Los mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
VRG	(1-3) 1-240	Con forro de policloruro de vinilo no acorazado (sin envolturas)	En locales húmedos y muy húmedos cuando no existen acciones mecánicas sobre el cable
AVRG	(1-3) 4-185	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
VRB	(2-3) 1-185	Con forro de policloruro de vinilo, acorazado, pero por encima de la envoltura — blindaje hay otra envoltura exterior de hilado para cables impregnado	Para tendidos subterráneos y fuera de los edificios, cuando es necesario proteger el cable de deterioros mecánicos
AVRB	(2-3) 4-185	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
VRBG	(2-3) 1-185	Con forro de policloruro de vinilo, acorazado con dos cintas de acero (sin envolturas)	En locales secos y húmedos, cuando es necesario proteger el cable de posibles deterioros mecánicos
AVRBG	(2-3) 4-185	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo

* Entre paréntesis se exibe el número de hilos.

Tabla 66

Surtido fundamental de los cables de fuerza con aislamiento de papel impregnado y forro de aluminio

Tipo de cable	Número de hilos y sección, mm²	Particularidades de la construcción del cable	Campo de aplicación
AG	(3-4) 6-120	Con hilos de cobre, no acorazado y sin envolturas protectoras	Para tendidos por las paredes y en canales, cuando no existen acciones mecánicas sobre el cable, en ambiente neutro respecto del aluminio

Continuación de la tabla 66

Tipo de cable	Número de hilos y sección, mm²	Particularidades de la construcción del cable	Campo de aplicación
AAG	(3-4) 6-120	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
AGV	(3-4) 6-120	Lo mismo que el cable AG, pero con aislamiento debilitado de los hilos	Lo mismo, pero para tendidos muy inclinados. Con fijaciones intermedias la diferencia de niveles es ilimitada
AAGV	(3-4) 6-120	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
AB	(3-4) 6-120	Con hilos de cobre, acorazado con dos cintas de acero y envoltura protectora exterior	Para tendidos subterráneos y por las paredes fuera de los edificios, donde pueden existir acciones mecánicas sobre el cable
AAB	(3-4) 6-120	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
ABV	(3-4) 6-120	Lo mismo que el cable AB, pero con aislamiento debilitado de los hilos	Lo mismo, pero para tendidos muy inclinados. Con fijaciones intermedias la diferencia de niveles es ilimitada
AABV	(3-4) 6-120	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
ABG	(3-4) 6-120	Con hilos de cobre, acorazado con dos cintas de acero, sin envoltura protectora exterior	Para tendidos dentro de los locales cuando hay necesidad de proteger el cable de posibles acciones mecánicas
AABG	(3-4) 6-120	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
ABGV	(3-4) 6-120	Lo mismo que el cable ABG, pero con aislamiento debilitado de los hilos	Lo mismo, pero para tendidos muy inclinados. Con fijaciones intermedias la diferencia de niveles es ilimitada
AABGV	(3-4) 6-120	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
AP	(3-4) 6-120	Con hilos de cobre acorazado con alambres planos de acero zincados, con envoltura protectora exterior	Para tendidos subterráneos y por las paredes fuera de los edificios, cuando existen esfuerzos tirantes sobre el cable y cuando hay necesidad de proteger el cable de posibles acciones mecánicas
AAP	(3-4) 6-120	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
APB	(3-4) 6-120	Lo mismo que el cable AP, pero con aislamiento debilitado de los hilos	Lo mismo, pero para tendidos muy inclinados. Con fijaciones intermedias la diferencia de niveles es ilimitada

Continuación de la tabla 66

Tipo de cable	Número de hilos y sección, mm²	Particularidades de la construcción del cable	Campo de aplicación
AAP	(3-4) 6-120	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
APB	(3-4) 16-120	Lo mismo que el cable AP, pero con aislamiento debilitado de los hilos	Lo mismo, pero para tendidos muy inclinados. Con fijaciones intermedias la diferencia de niveles es ilimitada
AAPV	(3-4) 16-120	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
APG	(3-4) 16-120	Con hilos de cobre, acorazado con alambres planos de acero zincados, sin envoltura protectora exterior	Para tendidos dentro de los locales cuando existen esfuerzos tirates y hay necesidad de proteger el cable de posibles acciones mecánicas
AAPG	(3-4) 16-120	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
APGV	(3-4) 16-120	Lo mismo que el cable APG, pero con aislamiento debilitado de los hilos	Lo mismo, pero para tendidos muy inclinados. Con fijaciones intermedias la diferencia de niveles es ilimitada
AAPGV	(3-4) 16-120	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo

Tabla 67

Surtido fundamental de los cables de fuerza con aislamiento de papel impregnado y forro de plomo

Tipo de cable	Número de hilos y sección, mm²	Particularidades de la construcción del cable	Campo de aplicación
SGT	(1-4) 6-800	Con hilos de cobre, no acorazado, con forro de plomo reforzado	Para tendidos en conductos de bloques y por las paredes dentro de los edificios, cuando no existen acciones mecánicas sobre el cable
ASGT	(1-4) 6-800	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Para tendidos por las paredes dentro de los edificios. Se tolera la colocación en tubos y bloques con secciones de 95 mm² y mayores
SB	(1-4) 4-800	Con hilos de cobre, acorazado con cintas de acero, con envoltura protectora exterior	Para tendidos subterráneos y por las paredes fuera de los edificios, cuando hay necesidad de proteger el cable de deterioros mecánicos

Continuación de la tabla 67

Tipo de cable	Número de hilos y sección, mm²	Particularidades de la construcción del cable	Campo de aplicación
ASB	(1-4) 4-800	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
SBV	(1-4) 4-500	Con hilos de cobre, acorazado con cintas de acero, con envoltura protectora exterior y aislamiento debilitado de los hilos	Para tendidos subterráneos y por las paredes en posición inclinada (con diferencia de niveles de hasta 100 m) en caso de sujeción intermedia
ASBV	(1-4) 4-500	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
SP	(1-4) 16-800	Con hilos de cobre, acorazado con alambres planos de acero, con envoltura protectora exterior	Para tendidos subterráneos pero si existen esfuerzos tirantes
ASP	(1-4) 16-800	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
SPV	(1-4) 16-500	Lo mismo que el cable SP, pero con el aislamiento debilitado de los hilos	Lo mismo que para el cable SBV
ASPV	(1-4) 16-500	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
SPG	(1-4) 25-800	Con hilos de cobre, acorazado con alambres planos de acero sin envoltura exterior protectora	Para tendidos en el interior de los edificios si existen esfuerzos mecánicos tirantes
ASPG	(1-4) 25-800	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
SPGV	(1-4) 16-500	Lo mismo que el cable SPG, pero con aislamiento debilitado de los hilos	Para tendidos dentro de los edificios en posición inclinada (con diferencia de niveles de hasta 100 m) en caso de sujeciones intermedias
ASPGV	(1-4) 16-500	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
SK	(4) 25-120	Acorazado con alambres redondos de acero galvanizados, con envoltura protectora exterior	Para tendidos bajo agua (en ríos y estanques innavegables)
ASK	(4) 25-120	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo
SKV	(4) 25-120	Lo mismo que el cable SK, pero con aislamiento debilitado	Lo mismo, pero en posición inclinada (siendo la diferencia de niveles de hasta 100 m)
ASKV	(4) 25-120	Lo mismo, pero con hilos de aluminio	Lo mismo

* Las secciones mayores de los hilos corresponden a los cables para menor voltaje, por ejemplo, el cable de tipo SGT para voltaje de 1 kV tiene la sección del hilo de 800 mm². Ese mismo cable para voltaje de 35 kV tiene la sección del hilo de 300 mm².

Capítulo IV

Materiales magnéticos

§ 42. *Características fundamentales de los materiales magnéticos*

Las cualidades magnéticas de los materiales se valoran mediante las llamadas *características magnéticas*. Las características fundamentales magnéticas son las siguientes (en el sistema de unidades de SI):

Permeabilidad magnética absoluta del material. Es igual a

$$\mu_a = \mu_0 \mu \text{ H/m},$$

donde μ_0 es la constante magnética, cantidad que caracteriza el campo magnético en el vacío

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ H/m} = 1{,}256637 \ 10^{-6} \text{ H/m};$$

μ es la permeabilidad magnética relativa o simplemente permeabilidad magnética (cantidad adimensional).

La permeabilidad magnética absoluta es igual a la relación entre la inducción magnética B y la intensidad del campo magnético H en el material:

$$\mu_a = \frac{B}{H} \text{ H/m},$$

Para valuar las propiedades de los materiales magnéticos se usa la permeabilidad magnética relativa μ. En este caso se definen (fig. 78):

μ_i es la permeabilidad magnética inicial, se mide en campos magnéticos muy débiles, con valores de intensidad del campo magnético H casi iguales a 0;

μ_m es la permeabilidad magnética máxima.

$CT\mu$ es el coeficiente de temperatura de la permeabilidad magnética. Caracteriza la variación de la permeabilidad magnética al cambiar la temperatura del material magnético.

Si la μ varía linealmente, entonces el coeficiente de temperatura de la permeabilidad magnética se calcula así:

$$CT\mu = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1} \cdot \frac{1}{t_2 - t_1} \; 1/°C,$$

donde μ_1 es la permeabilidad magnética inicial a temperatura t_1;
μ_2 es la permeabilidad magnética inicial a temperatura t_2.

La fuerza coercitiva H_c (fig. 79) es la intensidad del campo magnético, en el ciclo límite estático de histéresis[1]), cuando la inducción del material es igual a 0 ($B = 0$).

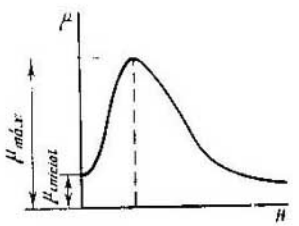


Fig. 78. Relación entre la permeabilidad magnética del material y la intensidad del campo magnético

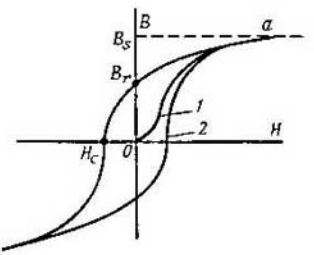


Fig. 79. Curva principal de imanación (*1*) y el ciclo estático de histéresis (*2*)

La intensidad del campo magnético H y la fuerza coercitiva se miden en amperios por metro (A/m), en kiloamperios por metro (kA/m), y también en amperios por cm (A/cm). La relación entre estas unidades es:

$$1 \text{ A/cm} = 100 \text{ A/m}; \; 1 \text{ kA/m} = 1000 \text{ A/m}.$$

El campo magnético Φ se mide en weberes (Wb).

La inducción residual B_r es la inducción que queda en el material saturado previamente (véase la fig. 79), cuando la intensidad del campo magnético es igual a cero ($H = 0$).

La inducción B y la inducción residual magnética B_r se miden en teslas (T): $1 \text{ T} = \text{Wb/m}^2$.

La inducción de saturación B_s (véase la fig. 79) también se mide en teslas (T).

P_h es la potencia que se gasta para reimantar el material en un campo magnético alterno (pérdidas por histéresis), W.

P_f es la potencia que se gasta en el material magnético por corrientes de Foucault (pérdidas por corrientes de Foucault), W.

---

[1]) El ciclo límite estático de histéresis se llama bucle que se obtiene, cuando las variaciones del campo magnético son lentas y los valores de intensidad son los máximos posibles desde $+H_{máx}$ hasta $-H_{máx}$.

El área abarcada por el ciclo de histéresis de cada material es proporcional a las pérdidas por histéresis y corrientes de Foucault.

p son las pérdidas específicas en un material magnético que surgen a determinada inducción B y frecuencia f del campo magnético alterno. Representan las pérdidas totales ($P_h + P_f$) correspondientes a 1 kg de material (W/kg).

Las pérdidas específicas se miden a inducciones magnéticas alternas en forma sinusoidal. Las pérdidas específicas a inducciones de $B = 1$ T (10 000 Gs) y frecuencia de 50 Hz se designan con P 10/50; a inducción de $B = 1{,}5$ T (15 000 Gs) y frecuencia de 50 Hz las pérdidas específicas se designan por P 15/50, etc.

ρ es la resistividad, una de las características eléctricas de los materiales magnéticos. El valor de ρ se mide en ohm·mm²/m. Esta característica determina las pérdidas por corrientes de Foucault.

La permeabilidad magnética en amplitud (permeabilidad dinámica) es una característica fundamental del material magnético al funcionar éste en campo magnético alterno, se determina como la relación entre el valor máximo de inducción (B_m) y el valor máximo de intensidad (H_m) en la curva de inducción dinámica, registrada en campo magnético alterno

$$M_{\sim} = \frac{B_m}{H_m}.$$

A bajas frecuencias y con pequeños espesores del material magnético, la curva de inducción dinámica coincide con la de inducción

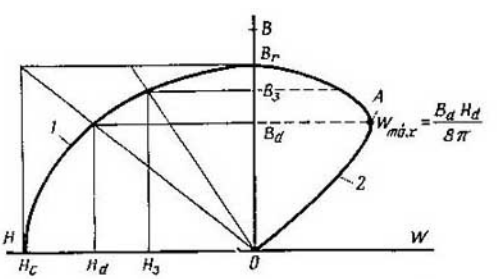


Fig. 80. Curva de desimanación (*1*) y curva de energía magnética (*2*) de un material magnéticamente duro

estática. Al mismo tiempo el valor de permeabilidad dinámica coincide con el valor de permeabilidad calculado por la curva fundamental estática de imanación.

$K = \frac{B_r}{B_s}$ es el coeficiente de retentividad (grado de rectangular) del ciclo de histéresis, determinado por el ciclo límite estático.

Los materiales magnéticamente duros se valoran también por la magnitud de energía máxima del campo magnético, creado por

Tabla 68

Característica magnética	Designación	Unidades de medida		Relación entre las unidades
		en el sistema SI	en el sistema SGCM	
Permeabilidad magnética absoluta	μ_a	$\frac{H}{m}\left(\frac{\text{henry}}{\text{metro}}\right)$	—	—
Permeabilidad magnética	μ	—	$\frac{Gs}{Oe}\left(\frac{\text{gauss}}{\text{oersted}}\right)$	—
Fuerza coercitiva	H_c	$\frac{A}{m}\left(\frac{\text{amperio}}{\text{metro}}\right)$	Oe (oersted)	$1\frac{A}{m}=1{,}256\cdot10^{-2}$ Oe
Flujo magnético	Φ	Wb (weber)	Mx (maxwel)	1 Wb $=10^8$ Mx
Inducción magnética residual	B_r	T (tesla)	Gs (gauss)	$1+1=1\frac{Wb}{m^2}=10^4$ Gs
Inducción de saturación	B_s	T (tesla)	Gs (gauss)	$1\ T=1\frac{Wb}{m^2}=10^4$ Gs
Pérdidas específicas en el material magnético	p	$\frac{W}{kg}\left(\frac{\text{watt}}{\text{kilogramo}}\right)$	$\frac{W}{kg}\left(\frac{\text{watt}}{\text{kilogramo}}\right)$	—
Densidad volumétrica de la energía magnética	W	$\frac{J}{m^3}\left(\frac{\text{joul}}{\text{metro cúbico}}\right)$	$\frac{Erg}{cm^3}\left(\frac{\text{erg}}{\text{cm cúb}}\right)$	$1\frac{J}{m^3}=10\frac{Erg}{cm^3}$ $1\frac{Erg}{cm^3}=0{,}1\frac{J}{m^3}$

Observación: $1\ T=1\frac{Wb}{m^2}\left(\frac{\text{weber}}{\text{metro cuadrado}}\right)$; 1 Gs $=1\cdot10^{-4}$ T $=10^{-4}\frac{Wb}{m^3}$; 1 Mx $=10^{-8}$ Wb; $1\frac{Wb}{cm^2}=1\cdot10^4\frac{Wb}{m^2}=1\cdot10^8$ Gs.

el imán en el espacio de aire (entre los polos del imán), y referida esta energía a la uniad de volumen del imán (fig. 80). Es la densidad específica volumétrica [1]) de la energía:

$$W=\left(\frac{B_d H_d}{2}\right)_{máx} J/m^3.$$

El fenómeno de magnetoestricción consiste en la variación de dimensiones del material bajo los efectos del campo magnetizante, o

[1]) W es la energía magnética por unidad de volumen, creada por el imán en el espacio de aire. Al construir los imanes permanentes es necesario disponer de la mayor posible W.

sea como resultado de la imanación e reimanación del material. Si el material ferromagnético se alarga o se acorta, la magnetoestricción será positiva o negativa, respectivamente.

En vista de que en el GOST (Normas Estatales Soviéticas) y en las «condiciones técnicas» las características de los materiales magnéticos se expresan en unidades del sistema SGCM (sistema electromagnético absoluto de unidades), por tanto a continuación (tabla 68) se exhiben las relaciones entre unidades magnéticas de los sistemas SI y SGCM.

Las propiedades magnéticas de los materiales se mantienen solamente hasta determinada temperatura, punto de Curie (T_c). Al sobrepasar esta temperatura las propiedades magnéticas de los materiales prácticamente desaparecen.

§ *43. Clasificación de los materiales magnéticos*

Todos los materiales magnéticos se dividen en dos grupos fundamentales: magnéticamente duros y magnéticamente blandos.

Los materiales magnéticamente blandos se distinguen por sus reducidas pérdidas por histéresis (estrecho ciclo de histéresis). Poseen valores relativamente elevados de permeabilidad magnética, baja fuerza coercitiva y relativamente alta inducción de saturación. Los materiales magnéticamente blandos se usan en la fabricación de núcleos (circuitos) magnéticos para transformadores, máquinas y aparatos eléctricos, pantallas magnéticas, etc., donde se exige una imantación con pequeñas pérdidas de energía.

Los materiales magnéticamente duros se caracterizan por su ancho ciclo de histéresis, o sea poseen gran fuerza coercitiva e inducción remanente. Estos materiales, una vez imantados, pueden mantener durante largo tiempo la energía magnética que se les fue transmitida; o sea pueden servir como fuente de campo magnético constante.

Los materiales magnéticamente duros se usan para fabricar imanes permanentes.

De acuerdo con la base, los materiales magnéticos se dividen en tres grupos: materiales metálicos, no metálicos y magnetodieléctricos.

Pertenecen a los materiales metálicos magnéticamente blandos los siguientes: el hierro técnicamente puro (electrolítico), acero electrotécnico en hojas, hierro-armco, permaloy (aleaciones de hierro-niquel) y otros.

Pertenecen a los materiales metálicos magnéticamente duros los siguientes: aceros aleados (templados para martensita), aleaciones especiales con base ferrosa de aluminio, níquel y componentes aleantes (cobalto, silicio, etc.).

A los materiales magnéticos no metálicos pertenecen las ferritas (óxidos ferrosos). Estos materiales se fabrican de una mezcla pul-

verizada de óxidos de algunos metales y de óxido de hierro. Los artículos de ferrita prensados (núcleos, anillos, etc.) se someten al tratamiento a elevadas temperaturas, o sea al recocido a temperaturas de 1300 a 1500° C. Las ferritas se diferencian en magnéticamente blandas y magnéticamente duras.

Los magnetodieléctricos son materiales combinados, compuestos del 70 al 80% de material magnético pulverizado y del 30 al 20% de dieléctrico orgánico de alta polimería.

Las ferritas y los magnetodieléctricos se diferencian de los materiales magnéticos metálicos por su alta resistividad volumétrica ($\rho = 10^2 - 10^{10}$ ohm·cm), lo cual rebaja considerablemente las pérdidas por corrientes de Foucault y permite utilizar estos materiales en la tecnia de alta frecuencia. Además, las ferritas poseen características magnéticas estables en un ancho intervalo de frecuencias.

§ 44. *Acero electrotécnico en chapas*

El acero electrotécnico es un material magnéticamente blando. Para mejorar las características magnéticas a estos aceros se le introduce silicio, que también aumenta la magnitud de la resistividad del acero, disminuyendo por tanto las pérdidas por corrientes de Foucault.

De acuerdo con el GOST (Normas Estatales Soviéticas) los aceros se fabrican de los siguientes tipos: a) E310, E320, E330, E330A, E340, E370, E380, éstos son aceros estructurados laminados en frío (los E310, E320 y E330 se fabrican en rolos); b) E1100, E1200, E1300, E3100, E3200, éstos son aceros ligeramente estructurados laminados en frío; c) E11, E12, E13, E21, E22, E31, E32, E41, E42, E43, E43A, E44, E45, E46, E47, E48, éstos son aceros no estructurados laminados en caliente.

Las letras y cifras en la denominación de los tipos de aceros significan lo siguiente: E, acero electrotécnico; las cifras 1, 2, 3, 4, situadas a continuación de la letra E en el primer lugar, indican el grado de ligación con silicio: 1, aceros de baja aleación (Si = = 0,8 ÷ 1,8%); 2, aceros de mediana aleación (Si = 1,8 ÷ 2,8%); 3, aceros de elevada aleación (Si = 2,8 ÷ 4%); 4, aceros de alta aleación (Si = 4,0 ÷ 4,8). Las cifras situadas en el segundo lugar a continuación de la letra E significan: 1, pérdidas específicas normales; 2, pérdidas específicas rebajadas; 3, pérdidas específicas bajas. La letra A significa pérdidas específicas muy bajas; 4, pérdidas específicas bajas a frecuencias de 400 Hz e inducción magnética en campos medianos; 5, permeabilidad magnética normal en campos magnéticos débiles [1]); 6, elevada permeabilidad magnética; 7, permeabilidad magnética normal en campos magnéticos medianos; 8, elevada permeabilidad magnética en campos medianos [2]).

[1]) Campos débiles: 0,002-0,008 A/cm.
[2]) Campos medianos: 0,03-1,0 A/cm.

La tercera cifra (0) significa que el acero ha sido laminado en frío y estructurado; la tercera y cuarta cifra (00) significa que el acero ha sido laminado en frío y ligeramente estructurado. Todas las denominaciones de los tipos mencionados corresponden a los aceros laminados con exactitud normal y con acabado superficial también normal. Para las clases de aceros laminados con elevada exactitud y con acabado superficial también mejorado, a la denominación de los tipos al final se agrega la letra P.

La mayor magnitud de la inducción magnética en los aceros estructurados se consigue al coincidir la dirección del campo magnético con la dirección de laminación de la hoja, o compone con ésta un ángulo de 180°. De acuerdo con esto, al montar los núcleos en E es necesario utilizar cintas de acero recortadas en dirección del laminado. Posteriormente estas cintas se agrupan de tal forma que la dirección del campo magnético coincida con la dirección del laminado o componga un ángulo de 180°.

El acero electrotécnico se fabrica en forma de hojas de 0,1; 0,2; 0,35; 0,5; y 1,0 mm de espesor, de 240 a 1000 mm de ancho, y de 720 a 2000 mm de largo.

En las tablas 69-75 se exhiben el surtido y características fundamentales del acero electrotécnico en hojas. Además de los aceros

Tabla 69

Surtido del acero electrónico en hojas

Tipo de acero	Espesor, mm	Ancho, mm	Largo, mm	Tipo de acero	Espesor, mm	Ancho, mm	Largo, mm
E11, E12	1,00	750	1500	E1100, E1200	0,50	600	1500
	1,00	860	1720	E1300, E3100	0,50	670	1340
	1,00	1000	2000	E3200	0,50	750	1500
E11, E12	0,50	600	1200		0,50	860	1720
E13, E21	0,50	670	1340		0,50	1000	2000
E22	0,50	750	1500	E310, E320,	0,50	600	1500
	0,50	860	1720	E330,	0,50	750	1500
	0,50	1000	2000		0,50	860	1720
E31, E32,	0,50	600	1500		0,50	1000	2000
E41, E42,	0,50	750	1500	E310, E320,	0,35	240	1500
E43, E43A	0,50	860	1720	E330, E330A	0,35	750	1500
	0,50	1000	2000	E340	0,35	1000	2000
	0,35	750	1500		0,20	240	1500
	0,35	1000	2000		0,20	750	1500
E44	0,35	750	1500	E370, E380	0,50	600	1500
	0,20	700	720		0,50	750	1500
	0,20	700	1400		0,35	240	1500
	0,10	700	710		0,35	750	1500
E45, E46,	0,35	750	1500		0,20	240	1500
E47, E48	0,20	700	720		0,20	750	1500
	0,20	700	1400				

Tabla 70

Características fundamentales del acero electrotécnico en hojas (en correspondencia con el GOST)

Forma de laborar el acero	Tipo	Espesor de la hoja, mm	Inducción magnética, H, a intensidad del campo magnético, A/cm					Pérdidas específicas completas a 50 Hz y valores máximos de la inducción, W/kg			Resistividad eléctrica, ohm·mm²/m, no menos de
			10	25	50	100	300	10 000	15 000	17 000	
			no menos de					no más de			
Laminado en caliente	E11	1,00	—	15 300	16 300	17 600	20 000	5,80	13,4	—	0,25
	E11	0,50	—	15 300	16 400	17 600	20 000	3,30	7,7	—	0,25
	E12	1,00	—	15 000	16 200	17 500	19 800	5,50	12,5	—	0,25
	E12	0,50	—	15 000	16 200	17 500	19 800	3,20	7,5	—	0,25
	E13	0,50	—	15 000	16 200	17 500	19 800	2,80	6,5	—	0,25
	E21	0,50	—	14 800	15 900	17 300	19 500	2,50	6,1	—	0,40
	E22	0,50	—	14 800	15 900	17 300	19 500	2,20	5,3	—	0,40
	E31	0,50	—	14 600	15 700	17 200	19 400	2,00	4,4	—	0,50
	E31	0,35	—	14 600	15 700	17 100	19 200	1,60	3,6	—	0,50
	E32	0,50	—	14 600	15 700	17 100	19 200	1,80	3,9	—	0,50
	E32	0,35	—	14 600	15 700	17 100	19 200	1,40	3,2	—	0,50
	E41	0,50	13 000	14 600	15 700	17 000	19 000	1,55	3,5	—	0,60
	E41	0,35	13 000	14 600	15 700	17 000	19 000	1,35	3,0	—	0,60
	E42	0,50	12 900	14 500	15 600	16 900	18 900	1,40	3,1	—	0,60
	E43	0,35	12 900	14 500	15 600	16 900	18 900	1,20	2,8	—	0,60

	E43	0,50	12 900	14 400	15 500	16 900	18 900	1,25	2,9	—	0,60
	E43	0,35	12 900	14 400	15 500	16 900	18 900	1,05	2,5	—	0,60
	E43A	0,50	12 900	14 400	15 500	16 900	18 900	1,15	2,7	—	0,60
	E43A	0,35	12 900	14 400	15 500	16 900	18 900	0,90	2,2	—	0,60
Laminado en frío ligeramente estructurado	E1100	0,50	—	15 300	16 400	17 600	20 000	3,30	7,5	—	0,25
	E1200	0,50	—	15 300	16 400	17 600	20 000	2,80	6,5	—	0,25
	E1300	0,50	—	15 500	16 400	17 600	20 000	2,50	5,8	—	0,25
	E3100	0,50	—	15 000	16 000	17 300	19 600	1,70	3,7	—	0,50
	E3200	0,50	—	14 800	15 800	17 200	19 500	1,50	3,4	—	0,50
Laminado en frío estructurado	E310	0,50	16 000	17 500	18 300	19 100	19 800	1,10	2,45	3,2	0,50
	E310	0,35	16 000	17 500	18 300	19 100	19 800	0,80	1,75	2,5	0,50
	E320	0,50	16 500	18 000	18 700	19 200	20 000	0,95	2,1	2,80	0,50
	E320	0,35	16 500	18 000	18 700	19 200	20 000	0,70	1,5	2,2	0,50
	E330	0,50	17 000	18 500	19 000	19 500	20 000	0,80	1,75	2,5	0,50
	E330	0,35	17 000	18 500	19 000	19 500	20 000	0,60	1,3	1,9	0,50
	E33A	0,35	17 000	18 500	19 000	19 500	20 000	0,50	1,1	1,6	0,50

Observación. Las características exibidas de los aceros laminados en frío ligeramente estructurados y de los laminados en caliente de los tipos: E1100, E1200, E1300, E3100, E3200 corresponden a las muestras que no fueron sometidas al recocido (después del recortado). Las propiedades del acero estructurado laminado en frío de los tipos: E310, E330, E330A corresponden a las muestras que no fueron sometidas al recocido (después del recortado). En el caso en que se ensayen las muestras de acero estructurado que no fueron sometidas al recocido, la magnitud de las pérdidas específicas completas disminuye en un 10%, en comparación con las magnitudes dadas en la tabla.

Tabla 71

Propiedades magnéticas del acero electrotécnico en hojas

Tipo de acero	Espesor de la hoja, mm	Inducción magnética, H, a intensidad del campo magnético, A/cm			Pérdidas específicas completas a 400 Hz, W/kg		Resistividad específica, ohm·mm²/m
		5	10	25	7500 H	10000 H	
		no menos de			no más de		
E44	0,35	12 100	13 000	14 400	10,7	19	0,57
E44	0,20	12 000	12 900	14 200	7,2	12,5	0,57
E44	0,10	11 900	12 800	14 000	6	10,5	0,57
E340	0,20	15 000	16 000	17 000	7	12	0,47

Tabla 72

Propiedades magnéticas del acero electrotécnico en hojas

Tipo de acero	Espesor de las hojas, mm	Inducción magnética, H, a intensidad del campo magnético. A/cm			Resistividad específica, ohm·mm²/m
		0,002	0,004	0,008	
		no menos de			
E45	0,35	1,2	2,6	7,7	0,55
E46	0,35	1,5	3,3	8,8	0,55
E45	0,20	1,3	2,8	7,0	0,55
E46	0,20	1,6	3,5	8,8	0,55

Tabla 73

Propiedades magnéticas del acero electrotécnico en hojas*

Tipo de acero	Espesor de la hoja, mm	Inducción magnética, H, a intensidad del campo magnético, A/cm										Resistividad eléctrica, ohm·mm²/m
		0,03	0,50	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	
		no menos de										
E47	0,35	—	—	350	1 400	4 800	6 100	7 700	9 200	12 100	13 000	0,55
E48	0,35	—	—	450	1 700	5 700	7 100	8 700	10 200	12 500	13 000	0,55
E47	0,20	—	—	300	1 000	3 800	5 300	6 600	9 000	11 800	12 900	0,55
E48	0,20	—	—	400	1 400	4 800	6 200	7 400	9 200	12 000	12 900	0,55
E370	0,50	140	400	2500	8 000	12 000	13 000	14 500	15 500	16 500	17 000	0,47
E380	0,50	200	550	4200	10 200	13 800	14 700	15 200	15 800	16 700	17 000	0,47
E370	0,35	120	250	2000	7 000	11 000	12 000	13 500	14 500	16 000	17 000	0,47
E380	0,35	180	450	4000	10 000	13 500	14 500	15 000	15 500	16 500	17 000	0,47
E370	0,20	100	200	1400	5 000	9 000	10 400	11 600	14 200	15 700	16 700	0,47
E380	0,20	180	450	2000	7 000	11 000	12 000	13 500	14 500	16 000	17 000	0,47

* De los aceros electrotécnicos estructurados de los tipos: E310; E330; E330A; E340; E350; E360; E360K; E370 y E380 se fabrica la cinta con el espesor de: 0,05; 0,08; 0,10; 0,15; 0,20; 0,35 y 0,50 mm y de anchura: 5; 5,6; 6,3; 6,5; 7,1; 8,0; 9; 10; 11,2; 12; 14; 15; 16; 18; 20; 22,4; 25; 28; 32; 35; 40; 45; 50; 56; 64; 71; 80; 90; 100; 112; 125; 140, 160; 180, 200; 224; 240; 250; 280; 300; 320; 355; 400; 450 y 500 mm.

Tabla 74

Surtido de aceros en chapas finas, pobres en carbono

Surtido	Espesor de la hoja, mm	Anchura de la hoja, mm						
		600	710	750	800	1000	1250	1400
		Largo de la hoja, mm						
		3	4	5	6	7	8	9
Hojas laminadas en frío	0,2; 0,25; 0,3; 0,4	1200	1420	1500	1500	—	—	—
	0,5; 0,6	1200	1420	1500	1500	1500	—	—
		2000						
	0,7	1200	1420	1500	1500	—	—	—
		2000						
	0,8; 0,9	1200	1420	1500	1500	2000	2000	—
		2000	2000	2000	2000		2500	—
	1,0; 1,1; 1,2	1420	1420	1500	1500	2000	2000	2800
	1,4; 1,6	2000	2000	2000	2000	—	2500	3000
	1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8	—	—	—	—	—	—	3500
	3,0; 3,2; 3,5; (3,8)	1420	1420	1500	1500	—	—	—
	4,0	2000						
Hojas laminadas en caliente	0,5; 0,6; 1	1200						
	0,7	1420	1420	—	—	—	—	—
	0,8; 0,9	1200						
	1,0; 1,1; 1,2	1420	1420	1500	1500	—	—	—
	1,4; 1,6							
	1,8	1200	1420	1500	1500	2000		—
	2,0; 2,2	1420						
		1420	1420	1500				
	2,5; 2,8	2000	2000	2000	2000	2000	2500	—
	3,0; 3,2; 3,5	1420	1420	1500	1500	2000	2500	2800
								3000
	4,0	2000	2000	2000	2000			3500
								4000

Tabla 75

Características fundamentales del acero laminar con bajo contenido de carbón

Tipo del acero	Fuerza coercitiva (no más de)	Permeabilidad magnética máxima	Campo de aplicación
E	1,2	3500	Circuitos magnéticos, relevadores, expansiones polares y otras piezas electromagnéticas
EA	1,0	4000	
EAA	0,8	5000	

electrotécnicos con silicio se fabrican aceros electrotécnicos en hojas finas, pobres en carbono.

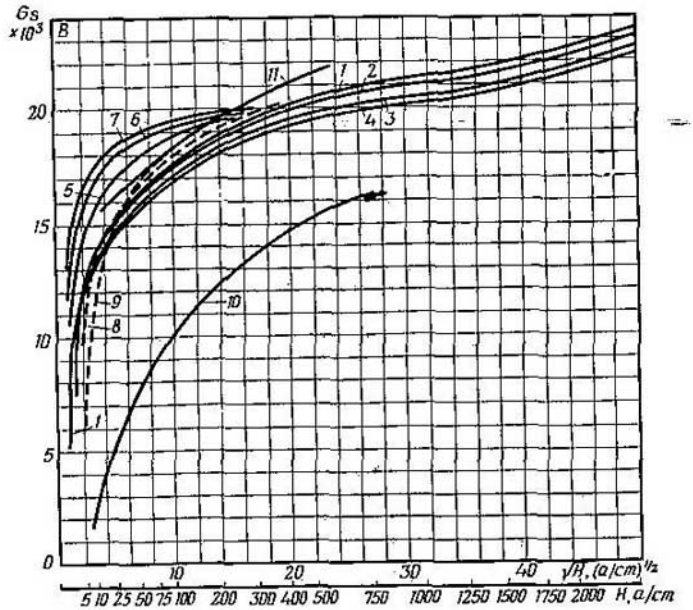


Fig. 81. Curvas de imanación de algunos aceros electrotécnicos: *1* — acero E11, *2* — acero E21, *3* — acero E31, *4* — acero E41, *5* — acero E310, *6* — acero E320, *7* — acero E330, *8* — acero en chapas para polos magnéticos, *9* — acero fundido, *10* — hierro fundido, *11* — acero E

Las curvas de imanación y la relación entre las pérdidas específicas y la inducción magnética para algunos aceros están reseñadas en las figuras 81-86.

§ *45. Aleaciones magnéticamente blandas (permalloys)*

Los permalloys son aleaciones de hierro-níquel, que contienen del 36 al 80% de níquel. Para mejorar unas u otras características, al contenido del permalloy se le agregan además el cromo, molibdeno, cobre, etc.

Las particularidades características de todos los permalloys son: su fácil imantabilidad (figs. 87, 88) en campos magnéticos débiles (los valores de μ_1 y μ_m son grandes) y sus elevados valores de resistividad.

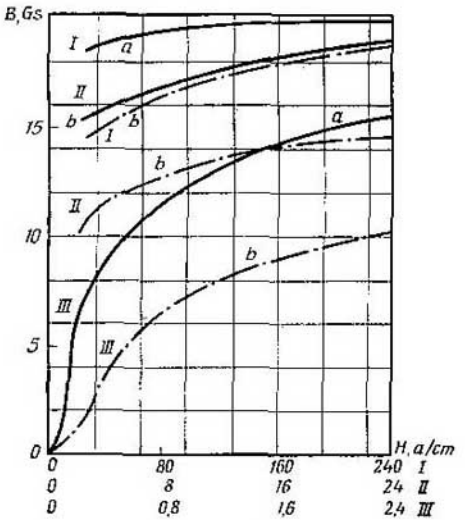


Fig. 82. Curvas de imanación de los aceros electrotécnicos E330A y E41:
a — acero E330A (estructurado), b — acero E41 (laminado en caliente)

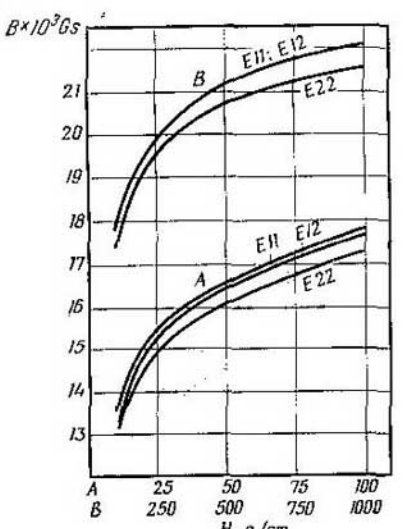


Fig. 83. Curvas de imanación de los aceros electrotécnicos E11, E12 y E22

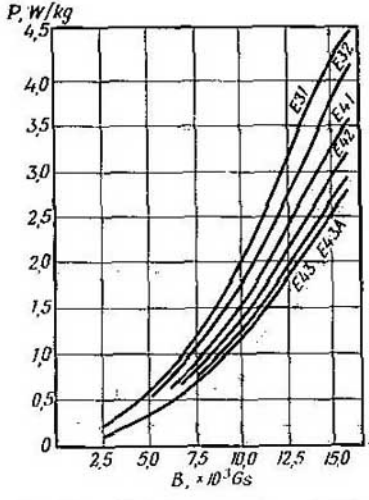


Fig. 84. Relación entre las pérdidas específicas y la inducción magnética de los aceros estructurados:
1 — E330 (d = 0,35 mm); *2* — E320 (d = 0,35 mm); *3* — E310 (d = 0,35 mm); *4* — E320 (d = 0,5 mm); *5* — E310 (d = 0,5 mm) a frecuencia de 50 Hz

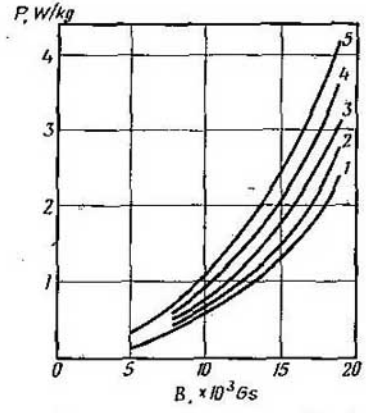


Fig. 85. Relación entre las pérdidas específicas y la inducción magnética para aceros laminados en caliente de 0,5 mm de espesor, a frecuencia de 50 Hz

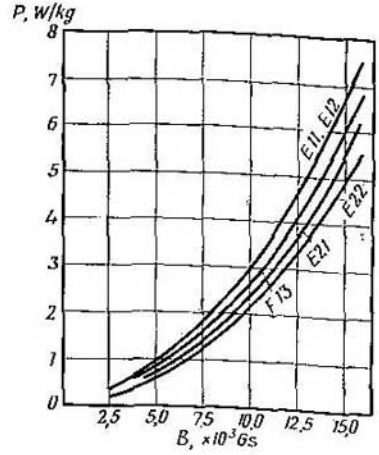


Fig. 86. Relación entre las pérdidas específicas y la inducción magnética para aceros para transformadores laminados en caliente de 0,5 mm de espesor, a frecuencia de 50 Hz

Composición de los permalloys fabricados en la URSS

Grupo de las aleaciones	Tipo de aleación	Composición, %								Densidad, g/cm³	Resistividad eléctrica, ohm·mm²/m
		níquel	silicio	cromo	molibdeno	manganeso	cobalto	cobre	hierro		
I*	45N	45,0-46,5	0,15-0,30	—	—	0,60-1,10	—	—	El resto	8,2	0,45
	50N	49-50,5	0,15-0,30	—	—	0,30-0,60	—	—	» »	8,2	0,45
	50NP	49-50,5	0,15-0,30	—	—	0,30-0,60	—	—	» »	8,2	0,45
II**	65NP	64,5-66,0	0,15-0,30	—	—	0,30-0,60	—	—	» »	8,35	0,25
	34NKMP	33,5-35,0	0,15-0,30	—	2,80-3,20	0,30-0,60	28,5-30,0	—	» »	8,70	0,50
III***	50NJS	49,5-51,0	1,10-1,40	3-80-4,20	—	0,60-1,10	—	—	» »	8,2	0,90
IV****	79NM	78,5-80,0	0,30-0,50	—	3,8-4,1	0,60-1,10	—	—	» »	8,6	0,55
	80NJC	79,0-81,0	1,10-1,50	2,60-3,00	—	0,60-1,10	—	—	» »	8,5	0,62
	76NJD	75,0-76,5	0,15-0,30	1,80-2,20	—	0,30-0,60	—	4,80-5,20	» »	8,5	0,57

* Las aleaciones del grupo I son de elevada permeabilidad magnética y poseen los valores máximos de la inducción de saturación.
** Las aleaciones del grupo II poseen ciclo de histéresis rectangular.
*** Las aleaciones del grupo III poseen elevada permeabilidad magnética y valor elevado de la resistividad eléctrica.
**** Las aleaciones del grupo IV poseen valores elevados de la permeabilidad magnética en campos magnéticos débiles.

Tabla 77

Dimensiones fundamentales de las hojas y barras de permalloy

Denominación de los artículos	Espesor o diámetro mm	Tolerancia del espesor o del diámetro mm	Anchura de las hojas, mm	Largo de las hojas (no menos de), mm
Hojas laminadas en caliente	3-5	±0,2	Múltiple a 100, pero no más de	800
	5-8	±0,4	600	500
	8-14	±0,5	450-600	500
	14-22	±0,7	450-600	300
Barras laminadas en caliente	8-10	±0,5	—	1000
	10-13	±1,0	—	1000
Barras forjadas y laminadas en caliente	13-35	+2,0	—	500
	35-50	+3,0	—	500
	50-80	+5,0	—	500
	80-100	+6,0	—	250 (no más de)

Tabla 78

Dimensiones fundamentales de las cintas de permalloy laminadas en frío

Espesor de las cintas, mm	Tolerancia del espesor, mm	Ancho de las cintas, mm	Largo de las cintas, no menos de, m	Espesor de las cintas, mm	Tolerancia del espesor, mm	Ancho de las cintas, mm	Largo de las cintas, no menos de, m
0,02-0,03	—0,003	30-100	30	0,45-0,70	—0,05	80-250	6
0,04-0,05	—0,008	30-100	30	0,75-0,95	—0,07	100-250	1
0,06-0,08	—0,01	70-200	30	1,00-1,35	—0,09	100-250	1
0,10-0,15	—0,02	80-250	20	1,40-1,75	—0,11	100-250	1
0,18-0,25	—0,03	80-250	20	1,80-2,30	—0,13	100-250	1
0,28-0,40	0,04	80-250	10	2,35-2,50	—0,16	100-250	1

Características fundamentales de los permalloys

Tipo	Variedad del artículo	Espesor o diámetro, mm	Características magnéticas a 20° C						
			permeabilidad magnética inicial (no menos de), μ_i	permeabilidad magnética máxima (no menos de), $\mu_{máx}$	fuerza coercitiva (no más de)		inducción de saturación (no menos de), Gs	B_r/B_a $N = 800\frac{A}{m}$ (no menos de)	Temperatura de Curie (valores promedios), T_C
					A/m	Oe			
45N	Cintas laminadas en frío	0,02-0,04	1700	16 000	32	0,40	$1,5 \cdot 10^4$	—	440
		0,05-0,08	1800	18 000	24	0,30			
		0,10-0,18	2000	20 000	24	0,30			
		0,20-0,30	2500	23 000	20	0,25			
		0,35-2,50	2800	25 000	16	0,20			
	Hojas laminadas en caliente Barras	3-22	2000	18 000	24	0,30	$1,5 \cdot 10^4$	—	
		8-10	2000	18 000	24	0,30	$1,5 \cdot 10^4$	—	
50N	Cintas laminadas en frío	0,02-0,04	1800	20 000	24	0,30	$1,5 \cdot 10^4$	—	500
		0,05-0,08	2000	20 000	20	0,25			
		0,10-0,18	2300	25 000	16	0,20			
		0,20-0,30	2600	30 000	12	0,15			
		0,35-0,50	3000	35 000	10	0,12			
		0,55-1,00	3000	30 000	12	0,15			
		1,10-2,20	2800	25 000	13	0,16			
	Hojas laminadas en caliente Barras	3-22	2500	20 000	24	0,30	$1,5 \cdot 10^4$	—	
		8-100	2500	20 000	24	0,30	$1,5 \cdot 10^4$	—	
50N-U	Cintas laminadas en frío	0,10-0,18	3000	30 000	14	0,18	$1,5 \cdot 10^4$	—	550
		0,20-0,30	3500	35 000	12	0,15			
		0,35-0,50	4000	45 000	10	0,12			
		0,55-1,00	4000	40 000	10	0,12			
		1,10-2,50	3000	35 000	12	0,15			

Continuación de la tabla 79

Tipo	Variedad del artículo	Espesor o diámetro, mm	Características magnéticas a 20° C						
			permeabilidad magnética inicial (no menos de), μ_i	permeabilidad magnética máxima (no menos de), $\mu_{máx}$	fuerza coercitiva (no más de) A/m	fuerza coercitiva (no más de) Oe	inducción de saturación (no menos de), Gs	B_r/B_a $N = 800\frac{A}{m}$ (no menos de)	Temperatura de Curie (valores promedios, T_C
50NP	Lo mismo	0,02	1 000	35 000	20	0,25	$1,5 \cdot 10^4$	0,85	500
		0,05	1 000	35 000	18	0,35			
50NP-U	» »	0,02	1 000	40 000	16	0,20			
		0,05	1 000	50 000	11	0,18	$1,5 \cdot 10^4$	0,90	500
65NP	» »	0,02-0,04	1 500	70 000	6,4	0,08			
		0,05-0,08	2 000	100 000	3,2	0,04			
		0,10-0,18	2 000	200 000	2,8	0,035	$1,3 \cdot 10^4$	0,90	600
		0,20-0,30	2 000	250 000	2,4	0,03			
		0,35-0,50	2 000	300 000	2,4	0,03			
34NKMP	» »	0,02-0,04	1 000	40 000	16	0,20		0,90	
		0,05-0,08	1 500	60 000	12	0,15	$1,5 \cdot 10^4$	0,87	600
		0,10-0,18	2 000	100 000	8	0,10		0,85	
		0,20-0,50	3 000	120 000	6,4	0,08		0,85	
50NJS	» »	0,02-0,04	1 500	15 000	20	0,25			
		0,05-0,08	2 000	20 000	16	0,20			
		0,10-0,18	2 500	25 000	13	0,16	$1 \cdot 10^4$	—	360
		0,20-0,30	3 000	28 000	10	0,12			
		0,35-0,50	3 200	30 000	8	0,10			
	Cintas laminadas en frío	0,55-1,00	3 000	20 000	10	0,12			
		0,02-0,04	16 000	70 000	4,0	0,05			
		0,05-0,08	16 000	90 000	3,2	0,04			
79NM	—	0,10-0,18	20 000	120 000	2,4	0,03	$0,75 \cdot 10^4$	—	450
		0,20-0,30	22 000	130 000	1,6	0,02			
		0,35-1,00	25 000	150 000	1,6	0,02			

		1,10-2,5	22 000	130 000	1,6	0,02			
	Hojas laminadas en caliente	3-22	20 000	80 000	3,2	0,04	$0{,}75 \cdot 10^4$	—	
	Barras	8-10	20 000	80 000	3,2	0,04	$0{,}75 \cdot 10^4$	—	
79NM-U	Cintas laminadas en frío	0,02-0,04	20 000	100 000	2,4	0,03			
		0,05-0,08	20 000	120 000	1,6	0,02			
		0,10-0,18	22 000	150 000	1,2	0,015	$0{,}73 \cdot 10^4$	—	500
		0,20-0,30	25 000	180 000	1,2	0,015			
		0,35-1,00	30 000	220 000	1,0	0,012			
		1,10-2,50	25 000	180 000	1,2	0,015			
80NJS	Lo mismo	0,20-0,04	18 000	70 000	4,0	0,05			
		0,05-0,08	20 000	90 000	3,2	0,04			
		0,10-0,18	22 000	120 000	2,4	0,03			
		0,20-0,30	28 000	130 000	1,5	0,02	$0{,}65 \cdot 10^4$	—	330
		0,35-0,50	35 000	150 000	1,2	0,015			
		0,55-1,00	30 000	170 000	1,0	0,012			
		1,10-2,50	25 000	150 000	1,2	0,015			
	Hojas laminadas en caliente	3-22	20 000	70 000	3,2	0,04	$0{,}65 \cdot 10^4$	—	
	Barras	8-100	20 000	70 000	3,2	0,04	$0{,}65 \cdot 10^4$	—	
76NJD	Cintas laminadas en frío	0,02-0,04	10 000	500 000	5,2	0,065			
		0,05-0,08	13 000	100 000	2,4	0,030			
		0,10-0,18	15 000	120 000	2,0	0,025	$0{,}75 \cdot 10^4$	—	430
		0,20-0,30	18 000	150 000	1,6	0,020			

, Los permalloys son aleaciones plásticas, que se laminan fácilmente en hojas y cintas hasta de 0,02 mm de espesor y menores. Gracias a estos elevados valores de resistividad y a la estabilidad de las características magnéticas, los permalloys pueden usarse a frecuencias hasta de 200 a 500 kHz. Los permalloys son muy sensi-

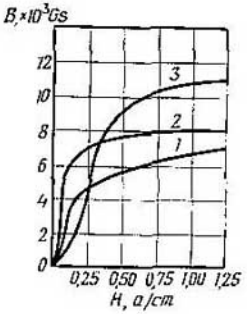


Fig. 87. Curvas de imanación de algunos tipos de permalloys:
1 — permalloy de cromo,
2 — permalloy de molibdeno,
3 — permalloy con un 45% de níquel

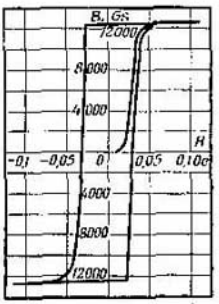


Fig. 88. Curva de imanación y ciclo de histéresis de permalloy estructurado de 0,1 mm de espesor, tipo 65NP

bles a las deformaciones, las cuales provocan empeoramientos de sus características magnéticas iniciales. La restauración del nivel inicial de las características magnéticas de las piezas deformadas de permalloy se consigue mediante un tratamiento térmico, siguiendo el régimen estrictamente elaborado (velocidad de calentamiento hasta de 900 a 1000° C, duración de calentamiento y velocidades estrictas de enfriamiento).

En las tablas 76-79 se exhiben el surtido y las características fundamentales de los permalloys fabricados en la URSS.

§ 46. *Materiales magnéticamente duros*

Los materiales magnéticamente duros poseen grandes valores de fuerza coercitiva. (H_c) y gran inducción residual (B_r), y por tanto, poseen grandes valores de energía magnética.

A estos materiales magnéticamente duros pertenecen:

1) aleaciones templadas en martensita (aceros aleados con cromo, tungsteno o cobalto); 2) aleaciones no maleables de hierro-níquel-aluminio de endurecimiento por precipitación (alni, alnico, etc.); 3) aleaciones maleables con base de hierro, cobalto y vanadio (vicalloy) o con base de hierro, cobalto, molibdeno (comol); 4) aleaciones

Aceros especiales al cromo, tungsteno y cobalto para imanes**

Tipo del acero	Composición química, %										Propiedades**		
	carbono	cromo	tungsteno	cobalto	molibdeno	manganeso	silicio	níquel	fósforo	azufre	inducción residual, B_r, T	fuerza coercitiva H_c, A/m	densidad volumétrica de la energía, J/m³
								no más de			no menos de		
EJ	0,95-1,10	1,30-1,60	—	—	—	0,20-0,40	0,17-0,40	0,30	0,03	0,02	0,90	4 600	4 400
EJZ3	0,90-1,10	2,80-3,60	—	—	—	0,20-0,40	0,17-0,40	0,30	0,03	0,02	0,95	4 800	4 800
E7V6	0,68-0,78	0,30-0,50	5,20-6,20	—	—	0,20-0,40	0,17-0,40	0,30	0,03	0,02	1,00	5 000	5 200
EJ5K5	0,90-1,05	5,50-6,50	—	5,50-6,50	—	0,20-0,40	0,17-0,40	0,60	0,03	0,02	0,85	8 000	7 200
EJ9K	0,90-1,05	8,0-10,0	—	13,5-16,5	1,20-1,70	0,20-0,40	0,17-0,40	0,60	0,03	0,02	0,80	13 600	11 200
15M													

* Los aceros se fabrican en barras de sección redonda (con diámetros de 8 a 70 mm) y de sección cuadrada (10×10 mm y 20×20 mm), y también de sección rectangular (con espesor de 6 a 25 mm y anchura de 18 a 35). Las superficies extremas transversales de las barras de sección cuadrada y de sección rectangular del acero al cromo se pintan en color verde; las del acero al tungsteno, en color negro; las del acero al cobalto, en color de bronce.

** La densidad de los aceros se encuentra dentro de los límites de 7,7 a 8,0 g/cm³.

Tabla 81

Composición química de las aleaciones de hierro-níquel-aluminio para imanes permanentes

Tipo de aleación*	Composición química**					
	níquel	aluminio	cobalto	cobre	titanio	hierro
	no más de					
YuND4 (AN3)	25,0	15,5	—	4,0	0,3	—
YuND12	30,0	11,0	—	12,0	0,3	—
YuND8	28,0	11,0	—	8,0	0,3	—
YuNDK15 (ANKO2)	20,0	9,0	15,0	4,0	0,3	—
YuNDK18 (ANKO3)	19,0	10,0	18,0	3,0	0,3	El resto
YuNDK35T5	15,0	8,0	35,0	4,0	5,0	—
YuNDK24T2	14,0	9,0	24,0	4,0	2,0	—
YuNDK24 (ANKO4)	14,0	9,0	24,0	4,0	0,3	—
YuNDK24B	14,0	9,0	24,0	4,0	—	0,8
YuNDK25A***	14,0	9,0	25,0	4,0	—	—
YuNDK25BA***	15,0	9,0	25,0	4,0	—	0,8

* Entre paréntesis están indicadas designaciones de las aleaciones según las Normas (GOST) «Imanes fundidos permanentes para magnetos y aparatos de aviación».
** Las impurezas (azufre, silicio, carbono y manganeso) se contienen en todas la aleaciones en cantidades de 0,03 (C) a 0,35% (Mn).
*** Las aleaciones son estructuradas.

Tabla 82

Características magnéticas de las aleaciones de hierro-níquel-aluminio para imanes permanentes*

Tipo de aleación	Inducción residual, B_r, T	Fuerza coercitiva, H_c, A/m	Densidad volumétrica de la energía, J/m³
YuND4	0,50	40 000	7 200
YuND12	0,50	52 000	8 800
YuND8	0,60	44 000	10 400
YuNDK15	0,75	48 000	12 000
YuNDK18	0,90	55 000	19 400
YuNDK35T5	0,80	87 000	28 000
YuNDK24T2	1,10	58 000	29 000
YuNDK24	1,23	44 000	32 000
YuNDK24B	1 20	51 000	32 000
YuNDK24A	1,33	54 000	52 800
YuNDK25BA	1,28	62 000	52 800

* Los imanes permanentes de aleaciones indeformables de aluminio-hierro-níquel pueden ser obtenidos solamente fundiéndolos en moldes. De estas aleaciones se fabrican imanes de gran dimensión para todas las destinaciones (instrumentos, rotores y estatores de generadores, embragues magnéticos, etc.).

Tabla 83

Composición de las aleaciones de hierro-níquel-aluminio

Tipo de aleación	Composición química, %							
	níquel	aluminio	cobalto	cobre	silicio	carbono	manganeso	hierro
AN1 (alni 1)	22,0	11,0	—	—	0,15	0,03	0,35	El resto
AN2 (alni 2)	24,5	13,0	—	3,5	0,15	0,03	0,35	Lo mismo
AN3 (alni 3)	23,5	15,5	—	4,0	0,15	0,03	0,35	» »
ANK (alnisi)	33,0	13,5	—	—	1,0	0,03	0,35	» »
ANKO1 (alnico 12)	18,0	10,5	12	6	0,15	0,03	0,35	» »
ANKO2 (alnico 15)	20,0	9	15	4	0,15	0,03	0,35	» »
ANKO3 (alnico 18)	19,0	10,0	18	3	0,15	0,03	0,35	» »
ANKO4 (mangnico)	13,5	9	24	3	0,15	0,03	0,35	» »

Tabla 84

Características fundamentales de los materiales de hierro-níquel-aluminio para imanes permanentes

Tipo o denominación de la aleación	Inducción magnética residual (no menos de), Gs	Fuerza coercitiva (no menos de), Oe	Energía magnética específica (no menos de), erg/cm³	Característica general de las aleaciones y de los métodos de laboración
AN1 (alni 1)	7 000	250	2 800	Material fundido. Se templa a 1200° C en agua hirviendo o se normaliza a 1200° C (imanes finos)
AN2 (alni 2)	6 000	430	38 000	Material fundido. Se templa a 120° C en agua hirviendo y se revieno a 550° C
AN3 (alni 3)	5 000	500	36 000	Material fundido. Se normaliza a 1100° C o se enfría en cajas de moldeo (imanes finos)
ANK (alnisi)	4 000	750	43 000	Material fundido. Se normaliza a 1200° C
ANKO1 (alnico 12)	6 800	500	55 000	Material fundido. Se normaliza a 1250° C
ANKO2 (alnico 15)	7 500	600	60 000	Material fundido. Se normaliza a 1300° C
ANKO3 (alnico 18)	9 000	650	97 000	Se templa a 1300° C en campo magnético ($H \geqslant 1500$ Oe)
AK04 (mangnico)	12 300	500	150 000	La velocidad de enfriamiento es de 5° C/s hasta 500° C y se revieno a 600° C
Alni 12-23	6 000	450	70 000	Material de metal-cerámica
AN2 (alni 2)	5 300	500	36 000	Lo mismo

Continuación de la tabla 84

Tipo o denominación de la aleación	Inducción magnética residual (no menos de), Gs	Fuerza coercitiva (no menos de), Oe	Energía magnética específica (no menos de), erg/cm³	Característica general de las aleaciones y de los métodos de laboración
ANK02 (alnico 15)	6 500	580	5 800	Lo mismo
ANK04 (mangnico)	11 000	450	115 000	Lo mismo
AN3 (alni 3)	3 300	450	26 000	Material metálico-plástico
ANK02 (alnico 15)	4 000	530	60 000	Lo mismo

de gran fuerza coercitiva, basadas en metales nobles (platino—hierro, plata-manganeso-aluminio y otras); 5) materiales no maleables de metalocerámica, los cuales se elaboran prensando componentes pulverizados, posteriormente las piezas (imanes) ya prensadas se someten a la tostación; 6) ferritas magnéticamente duras; 7) materiales no maleables metaloplásticos, fabricados de polvos de partículas del material magnéticamente duro y de una sustancia aglutinante (resina sintética); 8) materiales magnetoelásticos, integrados por polvos de sustancias magnéticamente duras y aglutinante elástico (caucho, goma).

La inducción residual de los imanes metaloplásticos y magnetoelásticos es del 20 al 30% menor que la de los imanes fundidos de los mismos materiales magnéticamente duros (alni, alnico y otros).

En las tablas 80-85 se exhiben las composiciones y características fundamentales de los ampliamente usados materiales magnéticamente duros.

§ 47. *Ferritas*

Las ferritas son materiales magnéticos no metálicos fabricados de una mezcla de óxidos de metales, especialmente seleccionados, con el óxido de hierro.

La denominación de ferrita se determina por el nombre del metal bivalente, el óxido del cual (Me) integra la composición de la ferrita. Así, si en la composición de la ferrita toma parte el óxido de zinc ($ZnFe_2O_4$), entonces la ferrita se llama de zinc, si en la composición de la ferrita toma parte el óxido de manganeso ($MnFe_2O_4$), se llamará de manganeso. La fórmula química de la ferrita simple se escribe así: $MeFe_2O_4$.

En la técnica se usan ferritas compuestas (mixtas), que en comparación con las ferritas simples son de características magnéticas superiores y poseen mayor resistividad. La fórmula general se mos-

Tabla 85

Composición y características magnéticas de las aleaciones de hierro-cobalto-molibdeno (comol)

Tipo de la aleación	Composición química, %						Características magnéticas		Observaciones
	cobalto	molibdeno	tungsteno	carbono	silicio	manganeso	inducción residual, T	fuerza coercitiva, A/m	
				no más de					
12KM12	11,5-12,5	11,5-12,5	—	0,05	0,3	0,4	0,80	8	Aleaciones maleables (en caliente), se elaboran en barras de 15-60 mm de diámetro y en hojas de 3-5 mm de espesor y de 300-400 mm de ancho
12KM14	11,5-12,5	13,5-14,5	—	0,05	0,3	0,4	0,75	9,6	
12KM16	11,5-12,5	15,5-16,5	—	0,05	0,3	0,4	0,70	12	
12KMV12	11,5-12,5	5,5-6,5	11,5-12,5	0,05	0,3	0,4	0,75	9,6	
12KMV14	11,5-12,5	5,5-6,5	13,5-14,5	0,05	0,3	0,4	0,75	12	Los imanes se elaboran por forjadura, estampado y curvado en caliente

trará así:

$$Me_x \cdot M_{(1-x)} Fe_2O_4,$$

donde x y $(1 - x)$ son las cantidades en peso de los óxidos de metales Me y M, correspondientes a sus pesos moleculares.

Un ejemplo de las ferritas compuestas es la ferrita de níquel-zinc $Ni_xZn_{(1-x)}Fe_2O_4$, la ferrita de manganeso-zinc $Mn_xZn_{(1-x)}Fe_2O_4$ y otras.

Todas las ferritas son sustancias de composición policristalina, se obtienen de óxidos de metales por medio de sinterización de los polvos de diferentes óxidos a temperaturas de 1100 a 1300° C.

La densidad de las ferritas es de 3 a 5 g/cm³. Cuanto más densa sea la ferrita, superiores serán sus características magnéticas.

Las ferritas pueden laborarse solamente con instrumentos abrasivos; son semiconductores magnéticos cuya resistividad se encuentra en el margen de 10^2 a 10^{10} ohm·cm. Esto permite usar las ferritas en campos magnéticos de alta frecuencia, ya que las pérdidas por corrientes de Foucault son insignificantes. La frecuencia límite, a la cual se elevan bruscamente las pérdidas, se llama *frecuencia de corte*. Además, los valores inicial y máximo de la permeabilidad magnética de las ferritas para alta frecuencia son estables en una gama amplia de frecuencias.

Algunas de las ferritas poseen un ciclo de histéresis rectangular bruscamente manifestado, y esto permite usarlas en los elementos lógicos de automatización. Las ferritas, igualmente que los materiales magnéticos metálicos, se dividen en magnéticamente blandos y duros.

A los primeros pertenecen las ferritas de níquel-zinc, de manganeso-zinc, litio-zinc, magnesio-manganeso y algunos otros.

Las ferritas de níquel-zinc poseen una resistividad de $\rho = 10^3$ a 10^{10} ohm·cm; la densidad es de 3,8 a 5,0 g/cm³; el coeficiente de dilatación lineal es de 10^{-5} 1/°C; la capacidad térmica es aproximadamente igual a 0,17 $\frac{\text{cal}}{\text{g}\cdot\text{grado}}$; la conductividad térmica es de 4,17 $\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{grado}}$.

Las ferritas de manganeso-zinc poseen una $\rho = 10^2 - 10^3$ ohm·cm; la densidad es de 4,4 a 4,7 g/cm³; el coeficiente de dilatación lineal es de 10^{-5} 1/°C; la capacidad térmica es de $\approx 0{,}17 \frac{\text{cal}}{\text{g}\cdot\text{grado}}$; la conductividad térmica es de 4,19 $\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{grado}}$.

Pertenecen a las magnéticamente duras la ferrita de bario $BaO \cdot 6Fe_2O_3$, la ferrita de cobalto $CoO \cdot Fe_2O_3$ y la ferrita de estroncio $SrO \cdot 6Fe_2O_3$.

Los materiales magnéticamente duros tienen una densidad de 3,3 a 5,0 g/cm³, la resistividad es desde $\rho = 10^3$ ohm·cm (la ferrita

Características fundamentales de las ferritas dulces de baja frecuencia *Tabla 86*

Tipo de la ferrita	Permeabilidad magnética inicial	Inducción residual B_r		Fuerza coercitiva H_c		Frecuencia límite, MHz	Resistividad eléctrica, ohm·cm	Temperatura de servicio, °C	Observación
		T	Gs	A/m	Oe				
600 NM	6000^{+800}_{-600}	0,11	1100	8	0,1	0,2	50	110	Las ferritas de manganeso-zinc se usan en campos magnéticos débiles
4000 NM	4000^{+800}_{-500}	0,13	1300	8	0,1	0,2	50	110	
3000 NM	3000 ± 500	0,15	1500	12	0,15	0,3	50	110	
2000 NM	2000^{+500}_{-300}	0,14	1400	16	0,2	0,6	50	180	
2000 NM1	2000^{+500}_{-300}	0,14	1400	16	0,2	0,6	50	180	
2000 NM2	2000^{+500}_{-300}	0,14	1400	16	0,2	0,6	50	180	
1500 NM	1500^{+200}_{-300}	0,14	1400	16	0,2	0,8	52	180	
1500NM1	1500^{+200}_{-300}	0,14	1400	16	0,2	0,8	52	180	
1500 NM2	1500^{+200}_{-300}	0,14	1400	16	0,2	1,0	52	180	
1000 NM	1000 ± 200	0,11	1100	28	0,35	1,0	50	180	
2000 NN	2000^{+400}_{-200}	0,12	1200	8	0,1	0,2	10^3	70	Las ferritas de níquel-zinc se usan en campos magnéticos débiles
600 NN	600^{+200}_{-100}	0,14	1400	32	0,4	1,0	10^4	110	
400 NN	400^{+100}_{-50}	0,12	1200	64	0,8	2,0	10^5	120	
200 NN	200^{+50}_{-70}	0,10	1000	120	1,5	3,0	10^5	120	
200 NN1	200 ± 20	0,10	1000	112	1,4	20,0	10^5	300	
100 NN	100^{+30}_{-10}	0,19	1900	50	0,62	40,0	10^5	300	
100 NN1	100^{+20}_{-10}	0,10	1000	123	1,54	45,0	10^5	150	

de cobalto) hasta 10^5 ohm cm (la ferrita de bario, de estroncio) y llega hasta 10^8 ohm·cm (ferritas isotrópicas de bario). La temperatura de Curie en las ferritas es de 450 a 550° C.

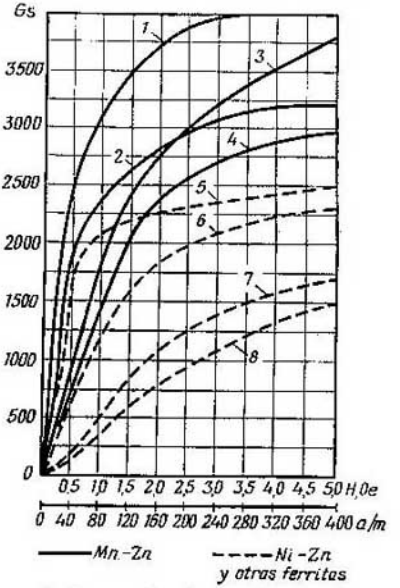


Fig. 89. Curvas de imanación de las ferritas de manganeso-zinc y níquel-zinc:
1 — 4000 NM, *2* — 3000 NM, *3* — 2000 NM, *4* — 1000 NM, *5* — 2000 NN, *6* — 600 NN, *7* — 400 NN, *8* — 200 NN

En las tablas 86-87 se exhiben las características fundamentales de las ferritas de gran utilidad, y en la figura 89 se muestran las curvas de imanación de las ferritas.

Tabla 87

Características magnéticas de las ferritas magnéticamente duras

Tipo de ferrita	Base de la ferrita	Estructura de la ferrita	Características magnéticas		
			fuerza coercitiva, kA/m	inducción magnética residual, T	densidad volumétrica de la energía, J/m³
0,7 BI	Ferritas de bario	Isotrópica	112-128	0,18-0,21	2 800-3 200
1BI			128-144	0,19-0,22	3 200-4 400
2BA		Anisotrópica	184-230	0,30-0,35	8 000-11 600
2BA-1		»	195-239	0,28-0,33	7 150-9 950
3BA		»	128-183	0,36-0,40	12 000-14 000
3BA-1		»	264-270	0,37-0,42	11 500-12 250
1,5 FK	Ferritas de cobalto	»	127-151	0,24-0,27	5 500-6 750
2 FK		»	127-160	0,28-0,32	7 150-8 750
3SA	Ferritas de estroncio	»	240-270	0,34-0,38	10 350-13 100
3,5 SA		»	160-230	0,38-0,41	13 900-15 900

Capítulo V

Materiales y artículos semiconductores

§ 48. *Clasificación y propiedades generales de los semiconductores*

A los semiconductores pertenece gran cantidad de materiales, que se diferencian entre sí por su estructura interior, composición química y propiedades eléctricas. De acuerdo con la composición química, los materiales semiconductores cristalinos se dividen en cuatro grupos:

1) materiales compuestos de átomos de un solo elemento: germanio (Ge), silicio (Si), selenio (Se), fósforo (P), boro (B), galio (Ga) y algunos otros;

2) materiales compuestos de óxidos de metales: óxido cuproso (Cu_2O), óxido de zinc (ZnO), óxido de cadmio (CdO), bióxido de titanio (TiO_2) y algunos otros;

3) materiales a base de composiciones químicas de átomos del tercero y quinto grupos del sistema periódico de elementos (de Mendeléiev), simbolizadas en una fórmula general A^{III} B^{V} y denominadas antimoniuros. A este grupo pertenecen: las composiciones de antimonio (Sb) con indio (antimonio de indio InSb), con galio (antimonio de galio GaSb) y otros, composiciones de átomos del segundo y sexto grupos A^{II} B^{VI} (CdS; ZnSe y otros), y también pertenecen composiciones de átomos del cuarto grupo $A^{VI}B^{IV}$ (SiC, carburo de silicio);

4) materiales semiconductores de procedencia orgánica, por ejemplo, composiciones policíclicas aromáticas: antraceno, naftalina y otros.

De acuerdo con la estructura cristalina los materiales semiconductores se dividen en dos grupos:

semiconductores monocristalinos, elaborados en forma de cristales grandes (monocristales). A éstos pertenecen el germanio, el

silicio, de los cuales se recortan (en direcciones determinadas) láminas para rectificadores y demás artículos semiconductores (aparatos);

semiconductores policristalinos, compuestos de multitud de cristales soldados uno con otro. Son semiconductores policristalinos el selenio, carburo de silicio y otros.

Por la magnitud de la resistividad volumétrica los semiconductores ocupan una posición intermedia entre los conductores y los dieléctricos. La resistividad de los semiconductores varía de 10^{-4} a 10^{10} ohm·cm.

En algunos semiconductores (carburo de silicio y otros) la resistencia eléctrica bruscamente disminuye al acrecer el voltaje aplicado. Esto se usa en los descargadores de válvula para proteger las líneas eléctricas de transmisión. En otros rectificadores (selenio, teluro y otros) la resistencia bruscamente disminuye bajo los efectos de rayos o radiación luminosa (fotoconductividad). Y esto se usa en las células fotoeléctricas y fotorresistentes.

Los semiconductores, en la frontera con los metales u otros semiconductores, tienen facultades para formar (a determinada semionda del voltaje alterno) una capa transitoria de gran resistencia (barrera). A la otra semionda del voltaje, la resistencia eléctrica de la capa transitoria bruscamente disminuye y empieza a dejar paso a la corriente. En esta propiedad se basa la construcción de rectificadores y amplificadores.

Una propiedad común para todos los rectificadores consiste en que éstos poseen conductividad por electrones y por huecos. Bajo la influencia del voltaje aplicado los electrones libres se trasladan en una dirección, y los huecos, formados a consecuencia de la libración de electrones, se mueven en dirección opuesta. El hueco se considera como si fuera una partícula positivamente cargada, con una carga igual a la del electrón. El movimiento de los electrones y huecos, y por tanto la magnitud de la corriente en los semiconductores se determinan por sus movilidades (μ).

La movilidad de los portadores de la corriente es la relación entre la velocidad del movimiento dirigido de electrones o huecos y la intensidad del campo eléctrico en el semiconductor, igual a 1 *V*/cm, o sea

$\mu_n = \frac{v_n}{E}$ cm²/V·s es la movilidad de los electrones,

$\mu_p = \frac{v_p}{E}$ cm²/V·s es la movilidad de los huecos,

donde v_n es la velocidad promedia del movimiento dirigido de electrones, cm/s;

v_p es la velocidad media del movimiento dirigido de huecos en cm/s;

E es la intensidad del campo eléctrico, V/cm.

La conductividad específica del material semiconductor se determina por la expresión

$$\sigma = e\,(N_n\mu_n + N_p\mu_p), \qquad (1)$$

donde N_n es la cantidad de electrones libres en 1 cm^3 del semiconductor (concentración de electrones);

N_p es la cantidad de huecos en 1 cm^3 del semiconductor (concentración de huecos);

e es la carga del electrón y del hueco igual a $1{,}6 \times 10^{-19}$ k.

Cuanto más puro sea el material semiconductor, mayor es la movilidad de los huecos y electrones, y también mayor es la conductividad de los semiconductores. En los semiconductores minuciosamente depurados (puros) tiene lugar la conductividad eléctrica propia. Además, las concentraciones de portadores de la corriente son iguales entre sí, o sea $N_n = N_p = N$ y la expresión (1) obtendrá la forma

$$\sigma = Ne\,(\mu_n + \mu_p). \qquad (2)$$

La conductividad eléctrica propia no es grande, relativamente, debido a que las cantidades de portadores libres de corriente, electrones y huecos, son insignificantes. En los materiales semiconductores técnicos una mayor conductividad se obtiene al introducir impurezas aleantes (germanio, silicio y otros) en los semiconductores minuciosamente depurados.

Se diferencian impurezas donadoras (donadores), compuestas de átomos con 5 electrones de valencia (antimonio, fósforo y otros) e impurezas aceptoras (aceptores), compuestas de átomos con 3 electrones de valencia (indio, boro, aluminio y otros).

Al introducir impurezas, la conductividad aumenta en todos los materiales semiconductores, además al introducir en el semiconductor impurezas donadoras se establece una conductividad electrónica exclusivamente (tipo n). Si en el semiconductor se introduce una impureza aceptora, se establecerá una conductividad eléctrica por huecos (tipo p).

A temperatura de ambiente se observa en los semiconductores una conductividad eléctrica debida principalmente a las impurezas (conductividad electrónica o por huecos). Al aumentar la temperatura aumenta también la conductividad total σ. En la región de altas temperaturas predomina la conductividad eléctrica propia, teniendo lugar la conductividad electrónica y por huecos.

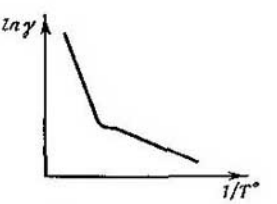


Fig. 90. Relación entre la conductividad de un semiconductor y la temperatura

La curva típica, que muestra la relación entre la conductividad específica de los semiconductores y la temperatura, se exhibe en la figura 90. La conductividad de los materiales semiconductores disminuye al bajar su temperatura.

En la tabla 88 se exhiben las características fundamentales de los materiales semiconductores más usados. Estos datos corresponden a los materiales puros. Para fabricar artículos semiconductores

Tabla 88

Propiedades de los materiales semiconductores principales

Material	Densidad a 20° C, g/cm³	Resistividad a 20° C, ohm·cm	Permeabilidad dieléctrica	Movilidad, cm²/s·V		Punto de fusión, °C	Ancho de la zona prohibida	Característica general
				de los electrones	de los huecos			
Germanio	5,320	46-68	15,7-16	3900	1900	958,5	0,78	Semiconductores electrónicos (por exceso). Se usan en la fabricación de dispositivos semiconductores: diodos y triodos
Silicio	2,328	$(2 \div 3) \cdot 10^5$	11,7-12	1450	500	1420	1,11	
Selenio (cristalino)*	4,8	$(0,8 \div 5) \cdot 10^5$	6,1-6,3	—	0,8	217	1,2	Semiconductor por huecos (en deficit). Se usa en rectificadores y resistencias fotoeléctricas (fotosensibles)
Oxido de cobre	5,8	10^3-10^6	12	—	100	1230	1,5	Semiconductor por huecos. Se usa en rectificadores
Carburo de silicio	3,2	10^4-10^7	6,5-7,5	60-100	8-10	1600	3,5	Base de las resistencias no lineales (vilita, tirita) para los descargadores de válvula. Rectificadores con gran temperatura de servicio

* El selenio de estructura amorfa (selenio negro) es un dieléctrico.

(rectificadores y otros) se usan materiales semiconductores aleados con impurezas donadoras o aceptoras.

Diferentes clases de germanio aleado poseen una resistividad $\rho = 0{,}03 \div 45$ ohm · cm, y las clases de silicio aleado, de $\rho = 0{,}1 \div 20$ ohm · cm.

§ 49. *Características voltaje-corriente de los semiconductores*

Al elevar el voltaje aplicado al semiconductor la corriente aumenta considerablemente más rápido que el voltaje (fig. 91), o sea se observa una relación no lineal entre la corriente y el voltaje. Si al invertir el voltaje ($-U$) la relación entre la corriente y el voltaje tiene el mismo carácter que en el sentido anterior, entonces el semiconductor posee una característica voltaje-corriente simétrica. En los rectificadores semiconductores selecionando los semiconductores con diferentes tipos de conductividad eléctrica (tipo p y tipo n), se consigue una característica voltaje-corriente asimétrica (fig. 92). Como resultado de esto, a una de las semiondas del voltaje alterno, el rectificador semiconductor dejará paso a la corriente. Esta corriente, que pasa en sentido directo I_d, aumenta rápidamente al elevar el voltaje aplicado. Al aplicarse la segunda semionda del voltaje,

Fig. 91. Relación entre la corriente y el voltaje (característica voltampérica de un semiconductor)

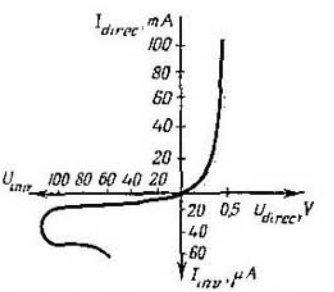


Fig. 92. Característica voltampérica asimétrica de un rectificador semiconductor (diodo de germanio por superficie de contacto)

este sistema de dos semiconductores (en el rectificador por superficies de contacto) no deja pasar la corriente en sentido inverso (I_{inv}). La causa de esto consiste en la gran resistencia de la barrera (unión p—n), que surge en el rectificador entre el semiconductor tipo p y el semiconductor tipo n. Una magnitud insignificante de corriente inversa I_{inv} pasa de todas formas a través de la barrera p—n del

rectificador, como consecuencia de existir en los semiconductores portadores de corriente no principales (electrones en el semiconductor tipo p y huecos en el semiconductor tipo n).

Siguiendo aumentando el voltaje aplicado, la corriente inversa I_{inv} empezará a elevarse lentamente y puede alcanzar tales valores, que surge la ruptura de la capa barrera, o sea la unión $p—n$.

Cuanto mayor es la relación entre la corriente directa I_d' y la corriente inversa I_{inv}' (medidas a voltajes iguales), mejores son las cualidades del rectificador. Esto se valora mediante el factor de rectificación, que representa la relación entre la corriente directa I_d y la corriente inversa I_{inv} influidas por valores iguales de voltaje

$$\alpha = \frac{I_d'}{I_{inv}'}.$$

§ 50. *Rectificadores de selenio*

Los rectificadores de selenio (fig. 93) se reúnen de células de selenio, éstas en forma de placas de aluminio, redondas o cuadradas. Cada una de estas placas está recubierta con una capa fina de selenio cristalino (50—60 micras) y posee conductividad tipo p. Sobre la superfici de selenio se asienta una capa fina de azufre, y sobre la capa de azufre se pulveriza una aleación catódica, compuesta de estaño y cadmio. Como resultado de haber aplicado prolongadamente un voltaje directo polarizado inversamente a la barrera, o sea de la capa catódica hacia el selenio, el cadmio se difunde en la capa de azufre (S), formando una capa fina ($\approx 10^{-5}$ cm) de sulfuro de cadmio (CdS). Este es un semiconductor electrónico, y la capa de selenio cristalino es de conducción por huecos, o sea se forma la unión $p—n$. En estas células rectificadoras (serie A), la placa de aluminio sirve de ánodo, y la capa de aleación de estaño con cadmio sirve de cátodo. En las células rectificadoras de la clase G, la capa barrera se sitúa entre la placa de aluminio y la capa de selenio, o sea está tapada por fuera.

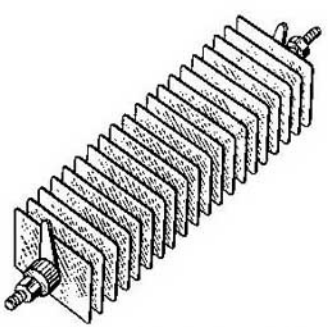


Fig. 93. Rectificador de selenio (columna) de construcción abierta

En las células rectificadoras de la serie G, como ánodo sirve la laminilla delgada de aluminio, que se encuentra en contacto con la capa de selenio cristalino, y como cátodo sirve la placa de aluminio.

Los voltajes de servicio de los rectificadores de la serie G son mayores que los voltajes de los rectificadores de la serie A. Para

rectificadores de ambas series la densidad de la corriente nominal es igual a 25 mA/cm². Los rectificadores de la serie (Ya) admiten una densidad de corriente de 50 mA/cm².

Para corrientes grandes, en la mayoría de las células, en el centro de cada una existe un orificio para poderlas montar (sobre espigas aisladas) en columnas rectificadoras (véase la fig. 93). Las células que no tienen orificios centrales se reúnen en cajas planas metálicas o en tubos de plástico. Para mejorar la refrigeración de las columnas rectificadoras entre las células de selenio se deja una holgura. Las columnas rectificadoras se diferencian por la forma y dimensiones de las células de selenio, y también por el esquema de rectificación (rectificador de punto medio derivado, puente trifásico, etc.). La polaridad de los electrodos se marca (en las columnas rectificadoras) con rayas en colores: de color rojo el +; de color azul el —; de color amarillo la ~. Las columnas rectificadoras y sus células se cubren con esmaltes hidrófugos. La resistencia del aislamiento de las columnas rectificadoras, con relación a la espiga metálica apretadora o con relación al casco metálico, se mide después de que los rectificadores hayan permanecido durante 2 días en un ambiente con 98% de humedad relativa y a 20 ± 5° C. Esta resistencia no debe ser menor de 2 Mohms. Ciertos tipos de rectificadores están destinados para funcionar en aceite para transformadores. Los rectificadores de selenio pueden usarse para rectificar corriente alterna hasta frecuencias de 1000 Hz, lo que se condiciona por la capacidad considerable de las células rectificadoras (0,02 μF/cm²). El rendimiento de los rectificadores de selenio se encuentra en los límites del 70 al 80%. Varía poco al cambiar el consumo de corriente.

De acuerdo con las interconexiones de sus células el rectificador de selenio tiene una designación convencional en forma de letras (tabla 89). Estas letras-símbolos toman parte en la designación completa del tipo del rectificador.

De acuerdo al voltaje admisible los rectificadores de selenio se dividen en clases (tabla 90).

En la denominación de los tipos de rectificadores toman parte cifras y letras, por ejemplo 40GD24A. El primer lugar lo ocupan unas cifras, que indican las dimensiones de las células rectificadoras (40 × 40 mm). La letra, siguiente a las cifras, indica la clase de la célula (en este caso G) de acuerdo con el voltaje alterno admisible, por ejemplo, para la clase G son 25 V. La siguiente letra indica el esquema típico, de acuerdo con el cual está conectado el rectificador (en nuestro caso la D indica que es un rectificador de dos brazos). A continuación la cifra siguiente indica la cantidad total de células en el rectificador (en el caso en cuestión son 24, o sea a 12 células en cada brazo). La letra situada en el último lugar indica la serie del rectificador (en nuestro caso es serie A).

Según las particularidades de explotación los rectificadores de selenio se fabrican de las siguientes series:

Esquemas de conexión de los elementos en los rectificadores de selenio

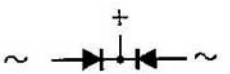
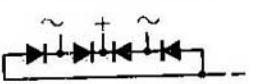
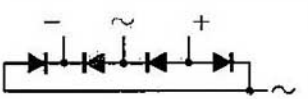
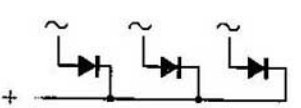
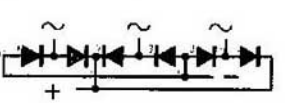
Tipo de rectificador	Esquema de rectificación	Esquema de conexión de las células en los rectificadores	Designación del tipo de rectificador
Rectificador simple	Monofásica de media onda		E
Rectificador con punto medio	Monofásica de onda completa		C
Rectificador de dos brazos	Monofásica de media onda, duplicando el voltaje		D
Puente monofásico	Monofásica de puente		M
Puente abierto monofásico	Lo mismo		J
Para redes trifásicas	De media onda		zh
Puente trifásico	Trifásica de puente		T

Tabla 90

Clases de los rectificadores de selenio

Letra designatoria de la clase del rectificador	Magnitud admisible de la corriente alterna por elemento	Series de rectificadores en las que se fabrican
V	20	A, Ya
G	25	A, Ya, F
D	30	A, G
E	35	G
I	40	G
K	45	G

Tabla 91

Dimensiones de las células rectificadoras de selenio y valores promedios de la corriente en sentido directo por célula

Dimensión de la célula, mm	Promedio del valor de la corriente en sentido directo por célula, A			
	Serie A	Serie G	Serie Ya	Serie F
F3	—	—	—	0,00006
F5	0,0012	—	—	0,0012
F7, 2	0,006	—	—	0,006
F12, 5	—	0,025	—	—
12 × 12	0,04	—	—	—
15 × 15	0,06	—	—	—
F18	—	0,04	—	—
22 × 22	0,075	—	0,15	—
F25	—	0,075	—	—
30 × 30	—	0,075	—	—
40 × 40	0,3	0,3	0,6	—
60 × 60	0,6	—	—	—
75 × 75	1,2	1,2	2,4	—
90 × 90	1,5	—	—	—
100 × 100	4	—	8	—
100 × 300	6	—	12	—
100 × 400	8	—	16	—

Tabla 92

Características fundamentales de los rectificadores de selenio de la serie A*, clases V y G

Tipo de rectificador**	Voltaje alterno aplicado, V	Voltaje rectificado, V	Promedio del valor de la corriente rectificada, A	Peso (no más de), kg	Dimensión del elemento rectificador, mm	Conexión de las células en el rectificador
60VM4A	20	14	1,2	0,16	60 × 60	Puente monofásico
60VM8A	40	29		0,25		
60VM12A	60	43		0,34		
60VM16A	80	58		0,43		
60VM20A	100	72		0,52		
60VM24A	120	87		0,60		
60VM32A	160	115		0,78		
75VM4A—	De 20	De 14	2,4	De 0,20	75 × 75	Lo mismo
75VM28A	a 140	a 100		a 0,85		
90VM4A—	De 20	De 14	3	De 0,23	90 × 90	» »
90VM24A	a 120	a 87		a 0,97		
100VM4A—	De 20	De 14	4	De 0,27	100 × 100	» »
100VM24A	a 120	a 87		a 1,16		
120VM4A—	De 20	De 14	8	De 0,6	120 × 120	» »
120VM24A	a 120	a 87		a 3,1		
130VM4A—	De 20	De 14	12	De 0,95	130 × 130	» »
130VM24A	a 120	a 87		a 4,7		
140VM4A—	De 20	De 14	16	De 1,4	140 × 140	» »
140VM24A	a 120	a 87		a 2,7		
60VD2A	40	14	0,6	0,11	60 × 60	Rectificador de dos brazos
60VD4A	80	29		0,15		
60VD6A	120	43		0,20		
60VD8A	160	58		0,24		
60VD10A	200	72		0,28		
60VD12A	240	87		0,33		
60VD16A	320	115		0,41		
60VD20A	400	145		0,50		
60VD24A	480	175		0,67		
60VD32A	640	230		0,75		
75VD2A—	De 40	De 14	1,2	De 0,13	75 × 75	Lo mismo
75VD28A	a 560	a 205		a 0,83		
90VD2A—	De 40	De 14	1,5	De 0,14	90 × 90	» »
90VD24A	a 480	a 175		a 0,93		
100VD2A—	De 40	De 14	2	De 0,16	100 × 100	» »
100VD24A	a 480	a 175		a 1,11		
120VD2A—	De 40	De 14	4	De 0,35	100 × 200	» »
120VD24A	a 480	a 175		a 3,05		
130VD2A—	De 40	De 14	6	De 0,55	100 × 300	» »
130VD24A	a 480	a 175		a 4,60		

Continuación de la tabla 92

Tipo de rectificador**	Voltaje alterno aplicado, V	Voltaje rectificado, V	Promedio del valor de la corriente rectificada, A	Peso (no más de), kg	Dimensión del elemento rectificador, mm	Conexión de las células en el rectificador
140VD2A—	De 40	De 14	8	De 0,8	100×400	Lo mismo
140VD24A	a 480	a 175		a 6,5		
60VS2A	20	7	1,2	0,11	60×60	Rectificador con punto medio
75VS2A	20	7	2,4	0,13	75×75	
90VS2A	20	7	3,0	0,14	90×90	
100VS2A	20	7	4,0	0,16	100×100	
75VT6A	17,5	18	3,6	0,25	75×75	Puente trifásico
75VT12A	35	37		0,41		
75VT18A	52	55		0,58		
75VT24A	70	74		0,75		
90VT6A—	De 17,5	De 18	4,5	De 0,32	90×90	Lo mismo
90VT24A	a 70	a 74		a 1,0		
100VT6A—	De 17,5	De 18	6	De 0,39	100×100	» »
100VT24A	a 70	a 74		a 1,2		
120VT6A—	De 17,5	De 18	12	De 0,9	100×200	» »
120VT24A	a 70	a 74		a 3,2		
130VT6A—	De 17,5	De 18	18	De 1,3	100×300	» »
130VT24A	a 70	a 74		a 4,9		
140VT6A—	De 17,5	De 18	24	De 2,0	100×400	» »
140VT24A	a 70	a 74		a 6,7		
60GM4A	25	18	1,2	0,16	60×60	Puente monofásico
60GM8A	50	37		0,25		
60GM12A	75	55		0,34		
60GM16A	100	74		0,43		
60GM20A	125	92		0,52		
60GM24A	150	110		0,60		
60GM32A	200	150		0,78		
75GM4A—	De 25	De 18	2,4	De 0,2	75×75	Lo mismo
75GM28A	a 175	a 130		a 0,85		
90GM4A—	De 25	De 18	3,0	De 0,23	90×90	» »
90GM24A	a 150	a 110		a 0,97		
100GM4A—	De 25	De 18	4,0	De 0,27	100×100	» »
100GM24A	a 150	a 110		a 1,16		
120GM4A—	De 25	De 18	8	De 0,6	100×200	» »
120GM24A	a 150	a 110		a 3,1		
130GM4A—	De 25	De 18	12	De 0,95	100×300	» »
130GM24A	a 150	a 110		a 4,70		
140GM4A—	De 25	De 18	16	De 1,4	100×400	» »
140GM24A	a 150	a 110		a 6,6		
60GD2A	50	19	0,6	0,11	60×60	» »
60GD4A	100	38		0,15		
60GD6A	150	57		0,20		
60GD8A	200	76		0,24		

Continuación de la tabla 92

Tipo de rectificador**	Voltaje alterno aplicado, V	Voltaje rectificado, V	Promedio del valor de la corriente rectificada, A	Peso (no más de), kg	Dimensión del elemento rectificador, mm	Conexión de las células en el rectificador
60GD10A	250	95	0,6	0,28	60×60	Rectificador de dos brazos
60GD12A	300	115		0,33		
60GD16A	400	150		0,41		
60GD20A	500	190		0,50		
60GD24A	600	230		0,58		
60GD28A	700	265		0,67		
60GD32A	800	305		0,75		
75GD2A—	De 50	De 19	1,2	De 0,13	75×75	Lo mismo
75GD28A	a 700	a 265		a 0,83		
90GD2A—	De 50	De 19	1,5	De 0,14	90×90	» »
90GD24A	a 600	a 230		a 0,93		
100GD2A—	De 50	De 19	2,0	De 0,16	100×100	» »
100GD24A	a 600	a 230		a 1,11		
120GD2A—	De 50	De 19	4,0	De 0,35	100×200	» »
120GD24A	a 600	a 230		a 3,05		
130GD2A—	De 50	De 19	6	De 0,55	100×300	» »
130GD24A	a 600	a 230		a 4,6		
140GD2A—	De 50	De 19	8	De 0,8	100×400	» »
140GD24A	a 600	a 230		a 6,5		
60GS2A	25	9	1,2	0,11	60×60	Rectificador con punto medio
75GS2A	25	9	2,4	0,13	75×75	
90GS2A	25	9	3,0	0,14	90×90	
100GS2A	25	9	4,0	0,16	100×100	
75GT6A	22	24	3,6	0,25	75×75	Puente trifásico
75GT12A	44	48		0,41		
75GT18A	66	72		0,58		
75GT24A	83	96		0,75		
90GT6A—	De 22	De 24	4,5	De 0,32	90×90	Lo mismo
90GT24A	a 88	a 96		a 1,00		
100GT6A—	De 22	De 24	6	De 0,39	100×100	» »
100GT24A	a 88	a 96		a 1,2		
120GT6A—	De 22	De 24	12	De 0,9	100×200	» »
120GT24A	a 88	a 96		a 3,2		
130GT6A—	De 22	De 24	18	De 1,3	100×300	» »
130GT24A	a 88	a 96		a 4,9		
140GT6A—	De 22	De 24	21	De 2,0	100×400	» »
140GT24A	a 88	a 96		a 6,7		

* Aquí se exhiben las características de rectificadores abiertos, clases V y G, de máximo plazo de servicio (V — no menos de 20 000 h, G — no menos de 25 000 h). Los rectificadores de las clases D y E, que garantizan idéntico plazo de servicio, se fabrican dentro de la serie G (véase la tabla 89).

** Aquí se exhiben los rectificadores compuestos de célula con dimensiones de 60×60 mm y mayores, para corrientes rectificadas desde 0,6 A y mayores. Los rectificadores de la serie A se fabrican con células de 15×15 mm, 22×22 mm, 30×30 mm, 40×40 mm, para corrientes (rectificadas): 0,04A; 0,075A; 0,15A; 0,3A y 0,6A.

Tabla 93

Características fundamentales de los rectificadores de selenio de la serie G*, clases D y E

Tipo de rectificador**	Voltaje alterno, aplicado, V	Voltaje rectificado, V	Promedio del valor de la corriente rectificada, A	Peso (no más de), kg	Dimensión del elemento rectificador, mm	Conexión de las células en el rectificador
75DM4G	30	22	2,4	0,2	75 × 75	Puente monofásico
75DM8G	60	45		0,29		
75DM12G	90	67		0,4		
75DM16G	120	90		0,51		
75DM20G	150	110		0,62		
75DM24G	180	135		0,74		
75DM28G	210	155		0,85		
100DM4G—100DM24G	De 30 a 180	De 22 a 135	4,0	De 0,27 a 1,16	100 × 100	Lo mismo
75DD2G	60	23	1,2	0,13	75 × 75	Rectificador de dos brazos
75DD4G	120	46		0,18		
75DD6G	180	69		0,22		
75DD8G	240	92		0,27		
75DD10G	300	115		0,32		
75DD12G	360	135		0,38		
75DD14G	420	160		0,44		
75DD16G	480	185		0,49		
75DD18G	540	205		0,55		
75DD20G	600	230		0,60		
75DD22G	660	250		0,66		
75DD24G	720	275		0,72		
75DD26G	780	300		0,78		
75DD28G	840	320		0,83		
100DD2G—100DD24G	De 60 a 720	De 23 a 275	2,0	De 0,16 a 1,4	100 × 100	Lo mismo
75DS2G	30	11	2,4	0,13	75 × 75	Rectificador con punto medio
100DS2G	30	11	4,0	0,16	100 × 100	
75DT6G	26	29	3,6	0,25	75 × 75	Puente trifásico
75DT12G	52	58		0,11		
75DT18G	78	87		0,58		
75DT24G	104	115		0,75		
100DT6G—100DT24G	De 26 a 104	De 29 a 115	6	De 0,39 a 1,2	100 × 100	Lo mismo
75EM4G	35	26	2,4	0,20	75 × 75	Puente monofásico
75EM8G	70	53		0,29		
75EM12G	105	79		0,40		
75EM16G	140	105		0,51		
75EM20G	175	130		0,62		
75EM24G	210	160		0,74		
75EM28G	245	185		0,85		
100EM4G—100EM24G	De 35 a 210	De 26 a 160	1,0	De 0,27 a 1,16	100 × 100	Lo mismo

Continuación de la tabla 93

Tipo de rectificador**	Voltaje alterno, aplicado, V	Voltaje rectificado, V	Promedio del valor de la corriente rectificada, A	Peso (no más de), kg	Dimensión del elemento rectificador, mm	Conexión de las células en el rectificador
75ED2G	70	27	1,2	0,13	75 × 75	Rectificador de dos brazos
75ED4G	140	54		0,18		
75ED6G	210	81		0,22		
75ED8G	280	105		0,27		
75ED10G	350	135		0,32		
75ED12G	420	160		0,38		
75ED16G	560	215		0,49		
75ED20G	700	270		0,60		
75ED24G	840	325		0,72		
75ED28G	980	380		0,83		
100ED2G—100ED24G	De 70 a 840	De 27 a 325	2	De 0,16 a 1,1	100 × 100	Lo mismo
75ES2G	35	13	2,4	0,13	75 × 75	Rectificador con punto medio
100ES2G	35	13	4,0	0,16	100 × 100	
75ET6G	30	33	3,6	0,25	75 × 75	Puente trifásico
75ET12G	60	66		0,41		
75ET18G	90	99		0,58		
75ET24G	120	130		0,75		
100ET6G—100ET24G	De 30 a 120	De 33 a 130	6	De 0,39 a 1,2	100 × 100	Lo mismo

* Aquí se exhiben las características de rectificadores abiertos, clases D y E, de máximo plazo de servicio (D — no menos de 25 000 h, E — no menos de 20 000 h).

** Aquí se exhiben los rectificadores compuestos de elementos con dimensiones de 75×75 mm y de 100×100 mm (para corrientes rectificadas de 1,2 A y mayores). Los rectificadores de la serie G se fabrican también con elementos de ⌀ 18 mm; ⌀ 25; 40×40 mm y 60×60 mm, para corrientes 0,3-0,6 A.

A son rectificadores que pueden funcionar a temperaturas desde —60° C hasta 75° C;

G son rectificadores que pueden funcionar a temperaturas desde —60° C hasta 80° C;

E son rectificadores que pueden funcionar a temperaturas desde —60° C hasta 125° C;

Ya son rectificadores que pueden funcionar con duplicada intensidad de corriente.

En la tabla 91 se exhiben las dimensiones de cada célula de selenio y los valores medios de corriente por célula en sentido directo.

El sexto lugar (100GD20A5), en la disignación de los tipos de rectificadores, lo ocupa una cifra que indica la cantidad de ramales paralelos (de 2 a 6). Si el rectificador no tiene ramales paralelos, entonces la cifra no se anota (40GD24A).

En el séptimo (último) lugar, en la designación de los tipos de rectificadores se sitúa una letra que indica distintas particularidades en la ejecución de los rectificadores:

N son rectificadores no pintados destinados para funcionar en aceite para transformadores (40D24A—N);

T son rectificadores protegidos con una pintura especial para funcionar en ambiente tropical;

P son rectificadores calculados para corrientes rectificadas con reducido tiempo de servicio.

Los rectificadores ejecutados normalmente y abiertos están destinados para funcionar en un medio aéreo, no llevan el séptimo signo en la designación del tipo del rectificador. Los rectificadores de construcción cerrada, cuando las células rectificadoras se sitúan en cajas, tienen la siguiente designación: AVS, TVS, FVS, etc.

La humedad relativa admisible del ambiente a $20 \pm 5°$ C no debe ser mayor del 80%.

La duración de servicio de los rectificadores son de 15 000 a 25 000 h (clases V, G, D, E) y de 5000 a 6000 h (para clases I, K). La posición normal de los rectificadores es horizontal. El plazo garantizado de almacenamiento es de 5 años. Los rectificadores de selenio durante su funcionamiento son capaces de resistir considerables sobrecargas (una corriente de sobrecarga doble se admite durante 5 min).

En las tablas 92 y 93 se exhiben las características eléctricas de los rectificadores de selenio más usados para corrientes desde 0,6 A y mayores.

§ 51. *Rectificadores de germanio y silicio*

Los rectificadores de germanio y silicio, en comparación con los rectificadores de selenio, son de mayor rendimiento.

De acuerdo con sus inicios constructivos los rectificadores (diodos) se diferencian en diodos de punta de contacto y de unión plana.

En los diodos de punta de contacto, la unión p — n se forma en una región de contacto muy pequeña entre la punta de un alambre metálico (aguja) y la placa de germanio o silicio. Por cuanto los diodos de punta de contacto tienen una capacidad muy baja, se usan principalmente en la técnica de altas frecuencias.

En los diodos de unión plana, al contrario de los diodos de punta de contacto, la unión p — n se forma en una mayor área, en el margen divisor entre los dos semiconductores con distintos tipos de conductividad.

Los diodos de unión plana, más difundidos, son los diodos aleados, en los cuales la unión p — n se forma aleando impurezas aceptoras (aluminio, indio, etc.) con el semiconductor base (germanio, silicio).

Los diodos de unión plana, en comparación con los de punta de contacto, poseen una capacidad considerablemente mayor, lo cual limita poderlos usar en altas frecuencias, pero pueden dejar pasar corrientes considerablemente mayores. Por tanto, en la electrotecnia mayormente se usan los rectificadores de unión plana de germanio y de silicio (figs. 94, 95). La duración de servicio de estos diodos

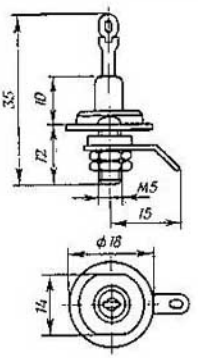


Fig. 94. Diodos de unión plana de silicio, tipos D202-D205, D302-D305

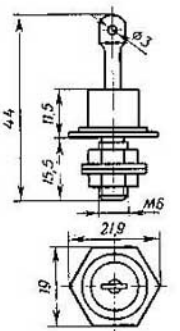


Fig. 95. Diodos de silicio por superficie de contacto, tipo D242-D247

es no menor de 5000 h. Los rectificadores de germanio pueden usarse a temperaturas no mayores de 65—80° C, y los de silicio, a temperaturas no mayores de 140—200° C. El rendimiento de los rectificadores de germanio es de 95-98%, y el de los de silicio, de 98 a 99%.

Todos los diodos semiconductores deben ser conectados al circuito de acuerdo a su polaridad, indicada en el casco del diodo.

Para alargar la duración de servicio de los diodos no se debe usarlos en sus regímenes límites de explotación (temperaturas límites, corriente máxima rectificada, etc.). Al montar los diodos en instrumentos y aparatos eléctricos hay que situarlos de tal forma, que garantice al diodo un mejor enfriamiento. Cuando el espesor de la base metálica es de 1 mm, entonces la superficie de enfriamiento correspondiente a 1 diodo no debe ser inferior a 40 cm^2. Pueden usarse disipadores de calor adicionales en forma de láminas de cobre y aluminio. Los diodos de gran potencia, para poderlos enfriar, se abastecen de radiadores aéreos (fig. 96, *a*, *b*, *c*) o de dispositivos con enfriamiento por agua o aceite. Al montar y soldar los diodos debe evitarse su sobrecalentamiento. Para este fin los diodos de baja potencia se sueldan con la aleación POS-50 (la temperatura de fusión es 223° C), situando el punto de soldadura a una distancia no menor de 10 mm del casco del diodo. La potencia del soldador no debe ser mayor de 50 a 60 W, la duración de soldar no debe sobrepasar 2-3 s.

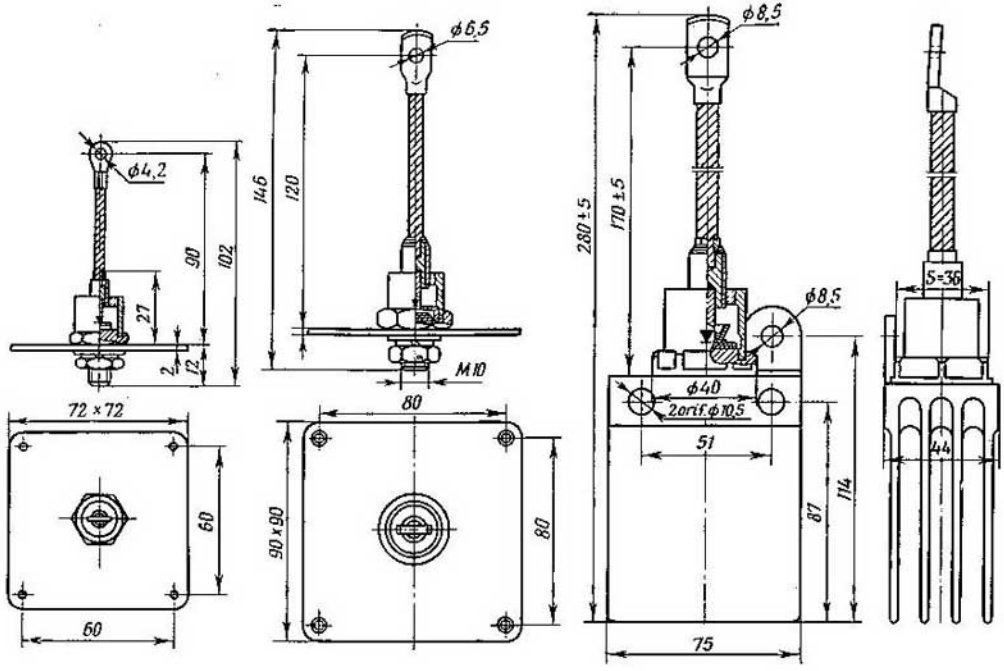


Fig. 96. Diodos de silicio por superficie de contacto, de fuerza, con refrigeración aérea

Tabla 94

Características fundamentales de los rectificadores de silicio y de fuerza (según el GOST 10662-69)

Tipo del rectificador*	Voltaje nominal**, V	Corriente nominal, A	Caída de voltaje en sentido directo (no más de)***, V	Voltaje no repetido, V	Voltaje repetido, V	Voltaje avalancha****, V	Condiciones de enfriamiento de los rectificadores*****	Velocidad de enfriamiento del aire o consumo del agua enfriadora
V-10	100-2500	10	0,6	175-4375	150-3750	—	Por aire natural con radiadores	—
VL-10	300-1500	10	0,6	—	—	500-2000	Lo mismo	—
V-25	100-2500	25	0,6	175-4375	150-3750	—	Por aire forzado con radiadores	3 m/s
VL-25	300-1500	25	0,6	—	—	500-2000	Lo mismo	3 m/s
V-50	100-2500	50	0,6	175-4375	150-3750	—	» »	6 m/s
VL-50	300-1500	50	0,6	—	—	500-2000	» »	6 m/s
V-100	100-2500	100	0,7	175-4375	150-3750	—	» »	12 m/s
VL-100	100-1500	100	0,7	—	—	500-2000	» »	12 m/s
V-200	100-2500	200	0,7	175-4375	175-4375	—	» »	12 m/s
VL-200	300-1500	200	0,7	—	—	500-2000	» »	12 m/s
V-320	100-2500	320	0,75	175-4375	150-3750	—	» »	12 m/s
VV-320	100-2500	320	0,75	175-4375	150-3750	—	Por agua	3 l/min
VL-320	300-1500	320	0,75	—	—	500-2000	Por aire forzado con radiador	12 m/s
VLV-320	300-1500	320	0,75	—	—	500-2000	Por agua	3 l/min
VV-500	100-2500	500	0,8	175-4375	150-3750	—	Lo mismo	4 l/min
VLV-500	300-1500	500	0,8	—	—	500-2000	» »	4 l/min
VLV-800	300-1500	800	1,0	—	—	500-2000	» »	4 l/min
VLV-1000	300-1500	1000	0,9	—	—	500-2000	» »	4 l/min

* En las designaciones de los tipos de los rectificadores las letras significan: V — rectificador; L — con característica inversa de avalancha; la segunda letra V — enfriamiento por agua; las cifras siguientes a las letras determinan la magnitud de corriente nominal del rectificador (en amperios).

** Los rectificadores con característica sin avalancha (V-10; V-25; V-50, etc.) se fabrican para voltajes nominales desde 100 hasta 2500 V. En un concreto tipo, los voltajes nominales de cada rectificador se diferencian entre sí en 100 V. Los rectificadores con característica de avalancha (VL-10; VL-25; VL-50 y demás) se elaboran para voltajes nominales desde 300 hasta 1500 V, diferenciándose entre sí en 100 V.

*** La caída de voltaje en sentido directo es el promedio por período del valor de voltaje en el rectificador cuando lo atraviesa la corriente nominal a temperatura ambiente de 25° C.

**** Los valores exhibidos son los límites superiores del voltaje de avalancha a temperatura de la unión electrón-hueco (unión *n-p*) igual a 25° C.

***** Los valores de las corrientes nominales corresponden a la temperatura del aire de enfriamiento de 40° C, y para los rectificadores con enfriamiento por agua corresponden a la temperatura del agua refrigerante de 30° C. A temperatura del aire de enfriamiento superior a 40° C o a temperatura del agua refrigerante mayor de 30° C los valores de la corriente rectificada deben ser rebajados respectivamente.

Características fundamentales de los diodos de silicio

Tipo del diodo	Número de la figura	Corriente máxima rectificada a 20° C, A	Voltaje máximo inverso a 20° C, V	Frecuencia máxima de servicio, Hz	Caída de voltaje en sentido directo a voltaje rectificado nominal, V	Promedio de los valores de la corriente inversa, mA	Intervalo de temperaturas de servicio, °C	Característica general
D202	94	0,4	100	Hasta 20 000	1	0,5	−55 ÷ +85	Los diodos vienen presentados en un bloque hermético metálico con tornillo y tuerca para fijarlos en el radiador de absorción de calor. El peso del diodo no es más de 8,75 g. El enfriamiento es natural
D203		0,4	200		1	0,5		
D204		0,4	300		1	0,5		
D205		0,4	400		1	0,5		
D302	94	1	200	50	0,30	0,8	−55 ÷ +70	Los diodos vienen presentados en un bloque soldado con tornillo y tuerca para fijarlos en el chasis de absorción de calor. El peso del diodo no es más de 25 g. El enfriamiento es natural
D302A		1	200	50	0,30	1,2	−55 ÷ +50	
D303		3	150	50	0,35	1,0	−55 ÷ +70	
D303A		3	150	50	0,35	1,2	−55 ÷ +50	
D304		5	100	50	0,30	2,0	−55 ÷ +70	
D305		10	50	50	0,35	2,5	−55 ÷ +70	
D242	95	10	100	Hasta 1 000	1,25	3	−60 ÷ +130	Los diodos vienen presentados en un bloque hermético metálico con aisladores de cristal y un tornillo para fijarlos. El peso del diodo no es más de 18 g. El enfriamiento es natural
D242A		10	100		1,0	3		
D242B		5	100		1,5	3		
D243		10	200		1,25	3		
D243A		10	200		1,0	3		
D243B		5	200		1,5	3		
D244	95	10	50	Hasta 1 000	1,25	3	−60 ÷ 130	
D244A		10	50		1,0	3		
D244B		5	50		1,5	3		
D245	95	10	300		1,25	3		
D245A		10	300		1,0	3		
D245B		5	300		1,5	3		
D246	95	10	400		1,25	3		
D246A		10	400		1,0	3		
D246B		5	400		1,5	3		
D247	95	10	500	Hasta 1 000	1,25	3	−60 ÷ 130	
D247A		5	500		1,5	3		
D247B		5	600		1,5	3		

La aptitud de los diodos para condiciones concretas de servicio se determina de acuerdo con sus características eléctricas:

1. La característica voltaje-corriente (fig. 92) expresa la relación entre la corriente que atraviesa el diodo y el valor y la polaridad del voltaje aplicado. En el cuadrante derecho superior se encuentra la parte de la característica voltaje-corriente perteneciente al sentido directo de la corriente. En el cuadrante izquierdo inferior se encuentra la segunda parte de la característica voltaje-corriente, indicando las variaciones de la corriente en sentido opuesto. Cuanto más se acerca la curva directa de la característica voltaje-corriente al eje vertical, y cuanto más también se acerca al eje horizontal su curva inversa, entonces mejor será el diodo.

En lugar de la representación gráfica completa de la característica voltaje-corriente se indican a veces sus partes por separado.

2. La corriente directa I_d es la magnitud de corriente, que atraviesa el diodo al aplicarle un voltaje de 1 V en sentido directo.

3. El valor máximo de corriente inversa $I_{\text{inv.máx}}$ es la magnitud de corriente, que atraviesa el diodo en sentido inverso, al aplicar el voltaje máximo inverso U_{inv}.

4. El valor máximo de voltaje inverso U_{inv} es la magnitud de voltaje, que puede ser aplicado al diodo sin dañarlo en sentido inverso.

5. La amplitud máxima de la corriente rectificada $I_{\text{máx}}$ es la amplitud límite admisible de la corriente rectificada, que atraviesa el diodo, cuando el valor medio cuadrático no sobrepasa el valor máximo de la corriente rectificada.

6. El voltaje disruptivo U_r es la magnitud del voltaje, a la cual surge la ruptura del diodo (destrucción eléctrica).

7. La caída de voltaje en sentido directo U_d es la magnitud de caída de voltaje en el diodo, cuando es atravesado por una corriente en sentido directo.

8. La potencia máxima admisible de disipación $P_{\text{máx}}$ es la magnitud de potencia máxima admisible de disipación, cuando se garantiza una determinada seguridad en el funcionamiento duradero del diodo.

9. La capacidad transitoria C_{tr} es la magnitud de la capacidad estática entre los bornes del diodo.

Además de los rectificadores se fabrican diodos universales, moduladores, de impulso, etc.

En las tablas 94 y 95 se exhiben las características de los diodos rectificadores de unión plana.

§ 52. *Artículos electrocarbónicos (escobillas para las máquinas eléctricas)*

Los artículos electrocarbónicos son las escobillas para motores eléctricos, los electrodos para hornos por arco eléctrico, piezas de contacto y demás artículos. Los artículos electrocarbónicos se fabrican, prensando masas iniciales en polvo con un posterior tratamiento térmico a altas temperaturas (calcinación de los artículos).

Las masas iniciales en polvo se componen de una mezcla de materiales carbónicos (grafito, hollín, coque, antracita, etc.) y de sustancias aglutinantes y plastificadoras (resinas sintéticas y de carbón de piedra, pez, etc.). En algunas masas en polvo no se introducen aglutinantes.

Describiremos uno de los grupos de artículos electrocarbónicos, las escobillas para máquinas eléctricas (fig. 97).

Las escobillas de grafito se fabrican de grafito natural sin usar aglutinantes (clases blandas) y utilizando aglutinantes (clases duras). Las escobillas de grafito se distinguen por su blandura y cometen durante su funcionamiento ruidos insignificantes.

Las escobillas de carbón-grafito se fabrican de grafito, adicionándole otros materiales carbónicos (coque, hollín) y sustancias aglutinantes. Las escobillas después del tratamiento térmico se cubren con una capa fina de cobre (en baños electrolíticos). Las escobillas de carbón-grafito poseen elevada resistencia mecánica, son duras y al usarlas se desgastan poco.

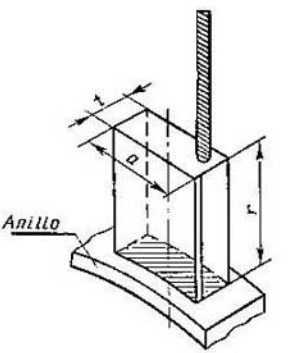


Fig. 97. Escobilla sobre el anillo deslizante del colector de una máquina eléctrica

Las escobillas electrografíticas se fabrican de grafito y otros materiales carbónicos (coque, hollín) adicionándoles sustancias aglutinantes. Después del tratamiento térmico las escobillas se someten al proceso de grafitización (recocido a 2500—2800° C). Las escobillas electrografíticas poseen elevada resistencia mecánica, estabilidad a los cambios bruscos de la carga (motores eléctricos de tracción), se usan a grandes velocidades circulares (45—60 m/s).

Las escobillas de metal-grafito se fabrican de una mezcla de polvos de grafito y cobre. A algunas se les introducen polvos de plomo, estaño o plata. Estas escobillas se distinguen por sus bajos valores de resistividad, admiten grandes densidades de corriente, y la caída de voltaje de contacto es pequeña.

En las tablas 96 y 97 se exhiben las características fundamentales de las escobillas, recomendaciones para seleccionarlas y dimensiones de las mismas para máquinas eléctricas de uso general.

Tabla 96

Características fundamentales de las escobillas y su campo de aplicación

Material de las escobillas	Tipo	Condiciones de trabajo recomendables: Densidad nominal de la corriente, A/m²	Condiciones de trabajo recomendables: Velocidad periférica máxima admisible, m/s	Condiciones de trabajo recomendables: Esfuerzo presionante específico, gf/cm²	Caída de voltaje de contacto por un par de escobillas a I_{nom}, V	Característica breve	Campo de aplicación
De carbón gráfítico	T2	6	10	200-250	2,0	Dureza elevada. Se fabrica de grafito con mezcla de hollín y coque	Máquinas de corriente continua para voltajes hasta de 220 V con conmutación dificultada, pero con velocidad periférica pequeña. Motores de pequeña potencia
	G21	5	24	180-550	4,0	Dureza media. Se fabrica a base de hollín	Máquinas de destinación industrial común con conmutación normal para voltajes hasta de 500 V
De grafito	G3	11	25	200-250	1,9	Dureza media. Se fabrica de grafito con hollín	Máquinas de corriente continua para voltajes hasta de 220 V, generadores de gran intensidad de corriente, motores de inducción y convertidores de un inducido
	G20	15	35	200-400	4,5	De alta resistividad. Se fabrica de grafito con ligadura de baquelita	Motores eléctricos de pequeña potencia y con conmutación dificultada. Se recomienda usarlas en casos de que las escobillas normalizadas funcionen no satisfactoriamente
	VT3	20	30	500-650	3,0	De grafito y dureza media, termorresistente	Máquinas de uso especial
Electrografitadas	EG2A	10	45	200-400	2,6	Dureza media. Se fabrica de coque, grafito y hollín	Motores potentes de tracción para voltajes hasta de 500 V. Generadores y motores con carga bruscamente irregular. Motores reversibles de destinación industrial común

	EG4	12	40	150-250	2,0	Escobilla universal, blanda, de grafito natural de alta calidad	Máquinas de corriente continua para voltajes hasta de 750 V con gran carga de corriente. Equipos eléctricos de las instalaciones de laminación, accionamientos de los compresores, ventiladores. Máquinas de destinación industrial común, turbogeneradores y convertidores de un inducido Grupos eléctricos. Diesel para estaciones eléctricas móviles
	EG8	10	40	200-400	2,4	Escobilla universal dura, de buenas cualidades conmutativas. Se fabrica a base de hollín	Máquinas de pequeñas dimensiones y grandes velocidades; además funciona bien en máquinas de gran potencia para voltajes hasta de 500 V y con conmutación dificultada. Motores con colector de corriente alterna. Motores para diversos aparatos de uso doméstico
Electrografitadas	EG14	11	40	200-400	2,5	Escobilla universal, dura, de coque-hollín y buenas cualidades conmutativas	Máquinas rápidas de corriente contínua para voltajes hasta de 750 V con carga bruscamente irregular (equipos eléctricos de los trenes de laminación). Motores de los ventiladores, máquinas de destinación universal, motores de tracción y de grúas. Generadores estacionarios de corriente continua de mediana y gran potencia
	EG17	2	15	200-300	2,6	Dureza media de coque—grafito—hollín	Motores eléctricos de corriente continua y alterna para voltajes de 110, 127 y 220 V
	EG51	12	60	150-400	2,5	Dura, a base de hollín	Motores eléctricos de conmutación dificultada: para los trenes de laminación, los de tracción, grúas y elevadores
Electrografitadas	EG61	13	60	350-500	2,4	Escobilla dura de hollín, impregnada	Motores potentes de tracción para voltajes hasta de 500 V para el material rodante de ferrocarriles, tranvías, trolebuses

Continuación de la tabla 96

Material de las escobillas	Tipo	Condiciones de trabajo recomendables			Caída de voltaje de contacto por un par de escobillas a I_{nom}, V	Característica breve	Campo de aplicación
		Densidad nominal de la corriente, A/m²	Velocidad periférica máxima admisible, m/s	Esfuerzo presionante específico, gf/cm²			
Electrografitadas	EG63	15	40	300-450	2,2	Escobilla dura, muy resistente, de buenas cualidades conmutativas	Motores de grandes velocidades con temperaturas de servicio del colector hasta 300° C (de corta duración). Motores de colector de corriente alterna, máquinas con colector frontal
	EG71	12	40	250-350	2,2	Dureza media, de grafito—hollín	Máquinas de corriente contínua para voltajes hasta de 500 V con conmutación dificultada
	EG73	12	60	170-270	2,4	Dura de choque—hollín, impregnada	Se usan en los generadores de gran potencia y conmutación dificultada, que tiene aislamiento silicoorgánico
	EG74	12	50	175-400	2,7	Universal, dura de muy buenas cualidades conmutativas. Se fabrica a base de hollín, impregnada	Máquinas con conmutación muy dificultada. Motores de los trenes de laminación, de tracción y máquinas con elevadas temperaturas de calentamiento del colector y cargas variables
	EG74K	12	60	170-270	2,6	Dura, de muy buenas cualidades conmutativas. Se fabrica a base de hollín, impregnada	Maquinas de gran velocidad y gran potencia con aislamiento silicoorgánico y cargas bruscamento variables, a empujones
	EG74AF	10	27	150-250	2,5	Dura, a base de hollín, impregnada	Compensadores sincrónicos con enfriamiento por hidrógeno
	A5	20	20	400-600	2,7	Lo mismo	Máquinas de uso especial

	VT1	30	25	500-850	1,4	Dureza media, de cobre—grafito, termorresistente	Lo mismo
	611M	12	40	200-250	2,0	Dureza media. Se fabrica a base de grafito con pequeño contenido de cobre	Motores y generadores para voltajes hasta de 780 V de diversa destinación. Máquinas de bajo voltaje. Se recomienda usar en sustitución de las escobillas tipos: G3, M3 y M20
De metal grafítico	M1	15	25	150-200	1,5	Escobilla de grafito—cobre, con contenido de cobre cerca de un 50%	Generadores sincrónicos, convertidores de un inducido y motores de inducción. Generadores para cargar con voltajes menores de 60 V y arrancadores de moderada potencia de la tensión de 20 a 60 V
	M3	12	20	150-200	1,8	De grafito, con contenido de cobre cerca de un 25%	Máquinas sincrónicas, motores de tracción de pequeña potencia, carros eléctricos para voltajes hasta de 80 V
	M6	15	26	150-200	1,5	Escobilla de cobre—grafito, con contenido de cobre del 40%	Generadores para cargar y máquinas de bajo voltaje hasta de 40 V. Motores y generadores de pequeña potencia con voltajes de 25 a 80 V
	M20	12	20	150-200	1,4	De grafito, con contenido de cobre del 30%. Se fabrica usando grafito de mayor calidad	Anillos colectores de las máquinas sincrónicas, motores de tracción de baja potencia, generadores para cargar voltajes hasta de 80 V
De metal grafítico	MG	20	20	180-230	0,2	Escobilla de cobre—grafito, con contenido de cobre cerca de un 80% y de grafito, un 20%	Anillos colectores de los motores de inducción, máquinas de bajo voltaje con alta densidad de corriente y baja velocidad periférica. Se recomienda sustituirla por escobillas tipos MGSO y MG64
	MG2	20	20	180-230	0,5	Escobilla de cobre—grafito, con adición de estaño	Motores de inducción y convertidores de un inducido, grupos de carga con voltaje de 8 a 12 V. Funcionan bien a elevadas densidades de corriente y a velocidades periféricas hasta de 20-25 m/s

Continuación de la tabla 96

Material de las escobillas	Tipo	Condiciones de trabajo recomendables			Caída de voltaje de contacto por un par de escobillas a J_{nom}, V	Característica breve	Campo de aplicación
		Densidad nominal de la corriente, A/m²	Velocidad periférica máxima admisible, m/s	Esfuerzo presionante específico, gf/cm²			
	MG4	15	20	200-250	1,1	De cobre—grafito, con contenido de cobre cerca de un 70%	Anillos colectores de los convertidores de un inducido, generadores sincrónicos y de inducción
	MG64	20	25	150-200	0,5	De cobre—grafito con adición de plomo	Máquinas de bajo voltaje con alta densidad de corriente. Anillos colectores de los motores de inducción
	96	15	20	200-300	1,1	De cobre—grafito, con contenido de cobre cerca de un 60%	Máquinas de uso especial
	MGS5	50	15	300-500	1,3	De cobre—grafito, con contenido de cobre cerca de un 50% y adición de plomo y estaño	Arrancadores para la aviación
	MGS7	27	55	400-600	1,9	Lo mismo	Generadores y convertidores para la aviación, que funcionan a gran altura, máquinas para la aviación de diverso destino
	MGS7i	28	55	400-600	1,9	Lo mismo, pero el prensado de cada escobilla se realiza individualmente en correspondencia con las dimensiones requeridas	Lo mismo que la MGS7. También se usa ampliamente en los micromotores

	MGS7tr	25	55	400-600	2,2	De cobre—grafito, con contenido de cobre cerca de un 50%	Máquinas de uso especial
	MGS8	28	55	400-600	2,4	De cobre—grafito, con adición de plomo y estaño. Se fabrica por prensado en caliente	Generadores y convertidores para la aviación que funcionan en alturas hasta de 18 000 m
	MGS9	24	30	400-600	2,4	De cobre—grafito, con adición de estaño y plomo	Convertidores rotativos y micromotores
	20	30	12	400-600	1,2	Lo mismo	Micromotores de corriente continua para voltajes de 5 a 16 V, a velocidades de rotación del colector de 1500-1300 r.p m.
De metal grafítico	MGSO	20	20	150-200	0,17	Escobilla de cobre—grafito, universal, con contenido de cobre cerca de un 80% y adición de plomo y estaño	Máquinas de bajo voltaje de todos los tipos con gran densidad de corriente
	PU	20	11	400-600	2,2	De cobre—grafito, con contenido de cobre cerca de un 10%	Máquinas de uso especial
	A8	15	15	200-350	1,6	De cobre—grafito	Máquinas de uso especial
	A12	24	15	400-550	1,4	Lo mismo	Lo mismo

Tabla 97

Dimensiones normalizadas de las escobillas para máquinas eléctricas (según la fig. 97)

Ancho (*t*), mm	Largo (*a*), mm	Altura (*r*), mm	Ancho (*t*), mm	Largo (*a*), mm	Altura (*r*), mm	Ancho (*t*), mm	Largo (*a*), mm	Altura (*r*), mm
1,0	1,6	6,3	4,0	5,0	10	6,3	10	20
1,6	2,0	8,0	4,0	5,0	12,5	6,3	10	25
1,6	2,5	6,3	4,0	5,0	16	6,3	10	32
1,6	2,5	8,0	4,0	6,3	12,5	6,3	12,5	16
2,0	2,5	6,3	4,0	6,3	16	6,3	12,5	20
2,0	3,2	6,3	4,0	8,0	16	6,3	12,5	25
2,0	2,5	8,0	4,0	8,0	20	6,3	12,5	32
2,0	3,2	8,0	4,0	10	16	6,3	16	16
2,0	4,0	8,0	4,0	10	20	6,3	16	25
2,0	4,0	10	5	6,3	12,5	6,3	16	32
2,5	3,2	6,3	5,0	6,3	16	6,3	20	25
2,5	3,2	8,0	5,0	6,3	20	6,3	20	32
2,5	3,2	10	5,0	8,0	16	6,3	25	32
2,5	4,0	8,0	5,0	8,0	20	6,3	25	40
2,5	4,0	10	5,0	8,0	25	6,3	32	32
2,5	4,0	12,5	5,0	10	16	6,3	32	40
2,5	4,0	16	5,0	10	20	8,0	10	12,5
2,5	5,0	10	5,0	10	25	8,0	10	20,0
2,5	5,0	12,5	5,0	12,5	12,5	8,0	10	25,0
2,5	6,3	12,5	5,0	12,5	20	8,0	10	32
2,5	6,3	16	5,0	12,5	25	8,0	12,5	16
3,2	4,0	6,3	5,0	12,5	32	8,0	12 5	20
3,2	4,0	8,0	5,0	16	20	8,0	12,5	25
3,2	4,0	10	5,0	16	25	8,0	12,5	32
3,2	4,0	12,5	5,0	16	32	8,0	16	20
3,2	4,0	16	5,0	20	25	8,0	16	25
3,2	5,0	10	5,0	20	32	8,0	16	32
3,2	5,0	12,5	5,0	20	40	8,0	20	20
3,2	5,0	16	5,0	25	32	8,0	20	25
3,2	6,3	8	5,0	25	40	8,0	20	28
3,2	6,3	10	6,3	8,0	12,5	8,0	20	32
3,2	6,3	12,5	6,3	8,0	16	8,0	20	40
3,2	6,3	16	6,3	8,0	20	8,0	25	25
3,2	6,3	20	6,3	8,0	25	8,0	25	32
4,0	5,0	8	6,3	10	16	8,0	25	40
8	25	50	12,5	25	40	20	25	32
8	32	32	12,5	25	45	20	25	40
8	32	40	12,5	25	50	20	25	45
8	32	50	12,5	32	32	20	25	50
10	12,5	25	12,5	32	40	20	32	32

Continuación de la tabla 97

Ancho (t), mm	Largo (a), mm	Altura (r), mm	Ancho (t), mm	Largo (a), mm	Altura (r), mm	Ancho (t), mm	Largo (a), mm	Altura (r), mm
10	12,5	32	12,5	32	45	20	32	40
10	16	25	12,5	32	64	20	32	45
10	16	32	12,5	40	40	20	32	50
10	20	20	12,5	40	50	20	32	64
10	20	25	12,5	40	64	20	40	40
10	20	28	12,5	50	50	20	40	50
10	20	32	12,5	50	64	20	40	64
10	20	40	16	20	32	20	50	50
10	25	25	16	20	40	20	50	64
10	25	28	16	20	45	25	32	40
10	25	32	16	25	32	25	32	45
10	25	40	16	25	40	25	32	50
10	25	50	16	25	45	25	32	64
10	25	40	16	25	50	25	40	40
10	32	50	16	32	32	25	40	40
10	40	40	16	32	40	25	40	50
10	40	50	16	32	45	25	40	64
10	40	64	16	32	50	25	50	50
12,5	16	25	16	32	64	25	50	64
12,5	16	32	16	40	40	32	40	40
12,5	20	25	16	40	50	32	40	50
12,5	20	32	16	40	64	32	40	64
12,5	20	40	16	50	50	32	50	50
12,5	25	25	16	50	50	32	50	64
12,5	25	32	16	50	64			

Capítulo VI

Soldaduras, fundentes y pegamentos

§ 53. *Soldaduras y fundentes*

Las soldaduras son metales o aleaciones, que se usan como ligamento al soldar piezas metálicas. Se diferencian en soldaduras blandas y fuertes. Las soldaduras blandas tienen un punto de fusión inferior a 420° C, y las fuertes poseen, un punto de fusión superior a 420° C.

Pertenecen a las soldaduras blandas: las aleaciones puras de plomo-estaño, y también con aditivos de bismuto, antimonio, cadmio y otros; las aleaciones de cadmio con zinc o con estaño y aluminio, y otros.

A las soldaduras fuertes pertenecen: las aleaciones puras de cobre-zinc, y también con aditivos de plata, fósforo y otros; las aleaciones de aluminio con silicio, zinc y otros; las aleaciones de cobre-plata.

Las soldaduras de plomo-estaño son de alta fluidez en estado líquido y rellenan bien las costuras finas. Las soldaduras de plomo-estaño se sueldan bien con la mayoría de los metales: con el cobre, latón, zinc, los aceros y garantizan a las costuras soldadas una rigidez suficientemente alta. Las soldaduras con un contenido de estaño inferior al 15% se usan para soldar piezas, que no necesitan gran resistencia mecánica. Las soldaduras de plomo-estaño con gran contenido de bismuto (50-57%) poseen un punto de fusión muy bajo (79-95° C), pero las costuras soldadas con éstos son frágiles y tienden a formar grietas.

Las soldaduras de cobre-zinc (PMTs-36; PMTs-48, etc.) y de cobre-fósforo (PFOTs-7-3-2, etc.) son frágiles e inestables a las vibraciones y cargas bruscas, pero la resistencia eléctrica de las costuras es muy baja.

Las soldaduras de plata-cobre (PSr-50; PSr-70; PSr-71) se distinguen por su baja resistividad y se usan frecuentemente para soldar

partes conductoras de corriente. Las soldaduras de plata-cobre se usan frecuentemente para soldar todos los metales, ferrosos y los no ferrosos, los cuales se ligan muy bien con estas soldaduras. Además se forman costuras mecánicamente resistentes y anticorrosivas.

Las soldaduras a base del aluminio con aditivos de cobre, silicio y estaño se distinguen por su elevada resistencia mecánica y estabilidad a la corrosión atmosférica.

Para soldar, el segundo componente de importancia es el fundente. La función del fundente consiste en depurar la superficie metálica a soldar de los óxidos y las demás suciedades, en preservar los metales a soldar de oxidación durante el proceso de soldar, y también en disminuir la tensión superficial del metal fundido.

Los fundentes pueden ser sustancias duras en polvo (bórax, ácido bórico, colofonia y otros) o líquidos (solución acuática de cloruro de zinc, solución alcohólica de colofonia y otros). A veces se usan fundentes semilíquidos (pastas).

Al soldar cobre, latón y bronce con soldaduras blandas a base de plomo-zinc se usan fundentes, que no provocan la corrosión de las costuras soldadas. A estos fundentes pertenecen: la colofonia, la solución de colofonia en alcohol etílico y otras composiciones a base de colofonia. La colofonia es un fundente de baja actividad, por tanto las superficies a soldar deben de limpiarse minuciosamente antes de aplicarles el fundente de colofonia.

Al soldar con soldaduras fuertes (duras), las cuales se funden a temperaturas superiores a 400°—450° C, no se pueden utilizar la colofonia y otros fundentes que fácilmente se descomponen a temperaturas elevadas. Al soldar a estas temperaturas el acero, cobre y las aleaciones de cobre (latón, bronce, etc.) se usa en calidad de fundente el bórax ($Na_2B_4O_7$) o una mezcla de ésta con ácido bórico (H_3BO_3) y otras sales. Para soldar aluminio, que fácilmente se oxida al aire, se usan fundentes especialmente activos, capaces de disolver la densa película de óxidos de aluminio. A estos tipos de fundentes pertenecen composiciones del 25 al 35% de cloruro de litio, del 8 al 12% de fluoruro de potasio, del 8 al 15% de cloruro de zinc y lo demás, el cloruro de potasio. En todos los casos, al elegir el fundente hay que tener en cuenta lo siguiente: el punto de fusión de la soldadura y la temperatura de soldar deben ser inferiores a la temperatura de descomposición del fundente. Para evitar la corrosión de costuras soldadas, los residuos de fundente deben ser extraídos con agua caliente utilizando cepillos de crin.

La composición y las propiedades fundamentales de las soldaduras y fundentes se exhiben en las tablas 98—101.

Tabla 98

Composición y propiedades fundamentales de las soldaduras blandas

Tipo de soldadura	Composición, %	Punto de fusión, °C	Límite de resistencia a la tracción, kgf/mm²	Campo de aplicación
POS-18	Estaño — 18 Antimonio — 2,5 Cobre — 0,15 Plomo — el resto	277	2,8	Para soldar artículos de cobre, latón, hierro estañado y galvanizado
POS-30	Estaño — 30 Antimonio — 2,0 Cobre — 0,15 Plomo — el resto	256	3,3	Lo mismo y además de bronce
POS-40	Estaño — 40 Antimonio — 2 Cobre — 0,1 Plomo — el resto	235	3,2	Para soldar artículos de cobre, latón, plata, bronce, hierro estañado y galvanizado y para uniones de montaje
POS-50	Estaño — 50 Antimonio — 0,8 Cobre — 0,1 Plomo — el resto	223	3,6	Para soldar artículos de cobre, latón, plata, bronce y hierro estañado y galvanizado y para uniones de montaje
POS-61	Estaño — 61 Antimonio — 0,8 Cobre — 0,1 Plomo — el resto	190	4,7	Lo mismo, y en particular para soldar conductores y muelles finos
POS-90	Estaño — 90 Antimonio — 0,15 Cobre — 0,08 Plomo — el resto	222	4,3	Lo mismo
PSrK-25	Estaño — 30 Cadmio — 5 Plomo — 63 Plata — 2	225	—	Para soldar piezas de las válvulas electrónicas
POSSr-15	Estaño — 15 Zinc — 0,6 Plata — 1,25 Plomo — el resto	276	—	Para soldar piezas de cobre, latón y bronce
PSr-2,5	Plata — 2,5 Estaño — 5,5 Plomo — el resto	305	3,6	Lo mismo
PSr-2	Plata — 2 Estaño — 30 Cadmio — 5 Plomo — el resto	235	3,8	Para soldar artículos de cobre, latón, bronce y acero
POSS4-6	Estaño — 4 Antimonio — 6 Plomo — el resto	265	5,8	Lo mismo, pero se suelda solamente por inmersión de las costuras secundarias (remachadas o troncadas) y para estañar cobre y acero

Continuación de la tabla 98

Tipo de soldadura	Composición, %	Punto de fusión, °C	Límite de resistencia a la tracción, kgf/mm²	Campo de aplicación
P150A	Estaño — 39 Cadmio — 57 Zinc — el resto	165	6,5	Para soldar piezas de cobre y de sus aleaciones, pero utilizando soldadores ultrasónicos
P170A	Estaño — 80 Plata — 1,0 Cadmio — el resto	175	6,3	Para soldar piezas de aluminio y de sus aleaciones, y también para soldar aluminio con cobre
Aleación de Rozhé	Estaño — 25 Bismuto — 50 Plomo — 25	92	7,0	Para soldar y estañar los lugares de unión en los instrumentos de pequeñas dimensiones
Aleación de Wood	Estaño — 12 Bismuto — 51 Cadmio — 12 Plomo — el resto	70	6,1	Para soldar y estañar los puntos sensibles al sobrecalentamiento
AVIA-1	Estaño — 55 Cadmio — 20 Zinc — 25	200	7,0	Para soldar artículos de aluminio y aleaciones de aluminio
AVIA-2	Estaño — 40 Cadmio — 20 Zinc — 25 Aluminio — 15	250	7,2	Lo mismo
P300A	Cadmio — 40 Zinc — 60	300	8,5	Lo mismo y para uniones de montaje
POSK-47	Estaño — 47 Cadmio — 17 Plomo — 36	180	—	Para soldar piezas plateadas metálicas y de cerámica
POSK-50	Estaño — 50 Cadmio — 18 Plomo — 32	145	—	Para soldar artículos de cobre y aleaciones de cobre
POK-56	Estaño — 56 Cadmio — 44	124	—	Lo mismo
POSV-33	Estaño — 33,4 Bismuto — 33,3 Plomo — 33,3	130	6,0	Lo mismo y para constantán

Tabla 99

Composición y propiedades fundamentales de las soldaduras fuertes

Tipo de soldadura	Composición, %	Punto de fusión, °C	Límite de resistencia a la tracción, kgf/mm²	Campo de aplicación
PMTs-36	Cobre — 36 Zinc — 64	825	20	Para soldar piezas de cobre, latón y bronce. Forma una costura frágil

Continuación de la tabla 99

Tipo de soldadura	Composición, %	Punto de fusión, °C	Límite de resistencia a la tracción, kgf/mm²	Campo de aplicación
PMTs-48	Cobre—48 Zinc—46	865	22	Lo mismo, pero la costura es de menor fragilidad
PMTs-54	Cobre—54 Zinc—46	880	35	Para soldar piezas de cobre, bronce y acero
L-62	Cobre—62 Zinc—38	905	30	Lo mismo
PFOTs-7-3-3	Cobre—87 Fósforo—7 Estaño—3 Zinc—3	700	20	Para soldar piezas de cobre, latón y bronce (con destinación electrotécnica)
PSr-25	Cobre—40 Plata—25 Zinc—35	775	28	Lo mismo y para artículos de acero y tungsteno. La temperatura de soldar es de 830° C
PSr-45	Cobre—30 Plata—45 Zinc—25	720	39	Lo mismo
PSr-50	Cobre—50 Plata—50	850	32	Para soldar las partes conductoras de cobre, latón y tungsteno
PSr-70	Zinc—4 Cobre—26 Plata—70	775	35	Lo mismo
PSr-71	Cobre—28 Plata—71 Fósforo—1	795	—	» »
PSr-72	Cobre—28 Plata—72	779	—	» »
VPT-3	Cobre—25 Silicio—7,0 Aluminio—68	530	—	Para soldar artículos de aluminio y de sus aleaciones
VPT-4	Aluminio—55 Silicio—5 Zinc—40	410	—	Lo mismo
34-A	Aluminio—66 Cobre—28 Silicio—6	525	18	Lo mismo; los lugares soldados poseen elevada resistencia mecánica
35-A	Aluminio—72 Cobre—21 Silicio—7	540	—	Lo mismo
A*	Cobre—1,5 Estaño—40 Zinc—58,5	425	8,0	Para soldar y estañar conductores de aluminio

Continuación de la tabla 99

Tipo de soldadura	Composición, %	Punto de fusión, °C	Límite de resistencia a la tracción, kgf/mm²	Campo de aplicación
B*	Aluminio—12 Cobre—8 Zinc—80	410	18,5	Lo mismo
De cadmio*	Cadmio—24 Estaño—36 Zinc—40	300	8,5	Para soldar conductores de aluminio de pequeño diámetro

* Con las soldaduras tipo A, B y de cadmio no se utilizan fundentes. Previamente los lugares a soldar sólo se limpian minuciosamente con cepillos de acero.

Tabla 100

Fundentes para soldaduras blandas

Tipo o denominación del fundente	Composición, %	Campo de aplicación
Colofonia clara	Ésteres de ácidos resinosos	Para soldar artículos conductores de cobre, latón y bronce
KE	Colofonia—20-25 Alcohol etílico—80-75	Lo mismo
GK	Colofonia—6 Glicerina—14 Alcohol etílico o desnaturalizado—80	Lo mismo y de plata alemana
VTS	Vaselina—63 Trietanolamina—6,5 Ácido salicílico—6,3 Alcohol etílico—21,2	Para soldar artículos conductores de cobre, latón, bronce, constantán, manganina, plata, platino y sus aleaciones. La pureza de la soldadura se garantiza
FIM	Ácido ortofosfórico—1,6 Alcohol etílico—3,7 Agua destilada—94,7	Para soldar artículos de metales ferrosos, cobre, latón y bronce. La soldadura debe lavarse con agua
FA	Anilina en ácido clorhídrico—1,8 Glicerina—1,5 Colofonia—96,7	Lo mismo, pero el lavado con agua no es imprescindible
KETs	Colofonia—24 Cloruro de zinc—1 Alcohol etílico—75	Lo mismo y además artículos de oro. Los residuos del fundente deben ser eliminados con solventes
FP	Colofonia—16 Cloruro de zinc—4 Vaselina—80	Para soldar artículos de metales ferrosos y no ferrosos. Garantiza una elevada resistencia mecánica de la costura, pero requiere un lavado con agua

Continuación de la tabla 100

Tipo o denominación del fundente	Composición, %	Campo de aplicación
Solución acuática de cloruro de zinc	La concentración de la solución es de 30 a 50%	Para soldar artículos de cobre, latón y bronce lavando posteriormente la costura soldada con agua
FV-3	Fluoruro sódico — 8 Cloruro de zinc — 16 Cloruro de litio — 36 Cloruro de potasio — 40	Para soldar artículos de aluminio y de sus aleaciones
AF-44	Cloruro de potasio — 50 Cloruro sódico — 28 Cloruro de litio — 14 Fluoruro sódico — 8	Para soldar por contacto eléctrico los artículos conductores de aluminio y de sus aleaciones (con soldaduras AVIA-1 y AVIA-2). Los residuos del fundente deben ser removidos
FTKA	Fluoborato de cadmio — 10 Fluoborato de amonio — 8 Trietanolamina — 82	Para soldar conductores de aluminio con los de cobre

Tabla 101

Fundentes para soldaduras fuertes

Composición, %	Campo de aplicación
Bórax calcinado*	Para soldar artículos de cobre y sus aleaciones, platino, níquel y aceros al carbono (con soldaduras de cobre y de cobre-zinc). Los restos del fundente deben ser removidos
Bórax fundido — 21 Anhídrido bórico — 65 Fluoruro de calcio — 14	Para soldar artículos de cobre, latón, bronce, de aceros inoxidable y al carbono (con soldaduras de cobre)
Anhídrido bórico — 35 Fluoruro de potasio — 42 Fluoborato de potasio — 23	Lo mismo, pero al soldar con soldaduras de plata
Bórax — 50 Acido bórico — 35 Fluoruro de potasio — 15	Lo mismo, especialmente con el PSr-45 Se usa en forma de pasta a base de agua o alcohol
Bórax — 58 Acido bórico — 40 Cloruro de calcio — 2	Para soldar artículos de cobre y latón (con soldaduras de plata y de cobre-zinc)
Fluoruro sódico — 10 Cloruro de zinc — 8 Cloruro de litio — 32 Cloruro de potasio — 50	Para soldar artículos de aluminio (con soldaduras de aluminio). Los restos del fundente deben ser removidos
Bórax fundido — 50 Acido bórico — 50	Para soldar cobre, latón, bronce y aceros inoxidables y termorresistentes (con soldaduras de cobre y cobre-zinc)
Bórax — 95 Permanganato de potasio — 5 (los ingredientes se mezclan en una solución de cloruro de zinc)	Para soldar artículos de hierro fundido (con soldaduras de cobre)*

* El bórax en polvos es higroscópico, por tanto hay que almacenarlo en envases con tapas bien ajustadas.

Tabla 102

Propiedades fundamentales de las colas de endurecimiento en caliente*

Tipo de la cola	Composición aproximada de la cola	Destinación de la cola	Conocimientos sobre el proceso de aglutinación
BF-2 BF-4	Soluciones alcohólicas de las resinas artificiales fenólicas con butvar	Para encolar metales, plásticos, cerámica, vidrios en distintas combinaciones. Las costuras de cola pueden soportar las temperaturas desde —60 hasta 70° C. Las costuras son hidro y óleorresistentes y estables al moho. El plazo de almacenamiento de las colas es de 6 meses	Las superficies ajustadas y minuciosamente limpiadas se recubren mediante un pincel con una capa fina de cola, la cual se deja secar durante 1 h a temperatura ambiente. La cola se aplica en 2 ó 3 capas y a cada capa se la deja secar durante 1 h. Después del secado de la última capa las superficies a pegar se ajuntan y se mantienen bajo presión específica de 5 a 15 kgf/cm² durante 72 h (a 25-40° C) o durante 1 h (a 150° C)
VS-10T	Solución alcohólica de resina fenólica de formaldehido y de una mezcla de poliacetal de vinilo y alcoxilano	Los objetos a pegar son los mismos que los de las colas BF, pero las costuras pueden soportar las temperaturas desde —60 hasta 150° C. Las costuras son hidro y óleorresistentes y estables al moho. El plazo de almacenamiento de la cola es de 6 meses	Las superficies ajustadas y minuciosamente limpiadas se recubren mediante un pincel con dos capas de cola. Cada una de las capas se seca durante una hora a temperatura ambiente. Después del secado de la segunda capa, las superficies a pegar se ajuntan y se mantienen bajo presión específica de 1 a 5 kgf/cm² durante 1,5-2 h (a 175° C). El enfriamiento hasta la temperatura ambiente se realiza sin quitar la presión sobre las superficies a pegar
VK-32-200	Solución de caucho SKN-40 en barniz alcohólico de baquelita IF. La cola se suministra en forma de dos componentes independientes (barniz IF y producto N° 3), los	Aglutinación de metales entre sí y con materiales no metálicos (vidrio, masas plásticas y otros). Las costuras de cola pueden soportar las temperaturas desde —60 hasta 200° C. Las costuras son hidro y óleorresistentes,	Las superficies ajustadas y minuciosamente limpiadas (con solventes) se recubren sucesivamente con dos capas finas. La primera capa se seca al aire a 20° C (30 min); la segunda capa, a 60° C (90 min). Después de haber secado la segunda capa, las superficies

Continuación de la tabla 102

Tipo de la cola	Composición aproximada de la cola	Destinación de la cola	Conocimientos sobre el proceso de aglutinación
VK-32-200	cuales se mezclan antes de ser utilizados en proporción: barniz $IF = 30\frac{60}{C_1}$, producto N° $3 = 70\frac{17}{C_2}$, donde C_1 — concentración del barniz; C_2 — concentración del producto N° 3	estables al ambiente tropical y a las vibraciones. El plazo de almacenamiento de los ingredientes es de 3 meses. La viabilidad de la cola preparada es de 24 h	a pegar se ajuntan y se mantienen bajo presión específica de 10 a 20 kgf/cm² durante 1-2 h (a 175° C)
D-2 (epoxídica)	Composición a base de la resina ED-6, anhidrido maleico y cuarzo pulverizado en proporción: resina ED-6 . . . . . 100 partes del peso anhidrido maleico . . . 2,28K** dimetilanilina 0,5 partes del peso cuarzo pulverizado 200 partes del peso . . .	Los objetos a pegar son los mismos, pero puede formar juntas herméticas. Las costuras de cola pueden soportar las temperaturas desde —60 hasta 100° C. La estabilidad de las costuras es la misma que la de la cola VK-32-200. La viabilidad de la cola preparada es de 3 días	Las superficies ajustadas y minuciosamente limpiadas se recubren con una capa de cola. Las superficies a pegar se ajuntan y se mantienen bajo presión específica de 0,5 a 1 kgf/cm² durante 10 h (a 120° C)
D-23 (epoxídica)	Composición a base de la resina EDL, de diciandiamida y cuarzo pulverizado en proporción:*** resina EDL . . . . . 10 partes de peso diciandiamida 0,49·K³ cuarzo pulverizado 1,5 L	Aglutinación de metales, cerámica, masas plásticas entre sí y en otras combinaciones. Las costuras de cola, que son de buenas cualidades electroaislantes, pueden soportar las temperaturas desde —60 hasta 130° C. Las costuras son hidro y álcorresistentes, estables al ambiente tropical, a los	Las superficies ajustadas y minuciosamente limpiadas se recubren con una capa uniforme de cola. Las superficies a pegar se ajuntan y se mantienen bajo presión específica de 0,3 a 0,5 kgf/cm² durante 3 h (a 180° C)

		ácidos y álcalis. El plazo de almacenamiento de la cola preparada es de 1-2 días	
D-93 (epoxídica)	Composición a base de la resina ED-6, trietanolamina, ftalatodibutílico y polvos de aluminio en proporción:*** resina ED-6 . . . . . 100 partes del peso trietanolamina . . . . . 10 partes del peso ftalatodibutílico . . . . 10 partes del peso polvos de aluminio 0,4 L****	Los mismos objetos a pegar que para las colas D-2 y D-23. Las costuras poseen alta hermeticidad y pueden soportar las temperaturas desde —60 hasta 100° C. La viabilidad de la cola preparada es de 2 a 3 días (si se almacena en envases cerrados)	Las superficies ajustadas y minuciosamente limpiadas se recubren con una capa uniforme de cola. Las superficies a colar se ajuntan y se mantienen bajo presión específica de 0,5 a 0,8 kgf/cm² durante 10 h (a 120° C) o durante 7 h (a 140° C)
Cola de baquelita	Composición a base del barniz alcohólico de baquelita y de urotropina en proporción: barniz de baquelita . . 100 partes del peso hexametilentetramina (urotropina) . . . . . 3 partes del peso	Aglutinación de masas plásticas, cartón, mica, vidrios y cerámica. Las costuras de cola pueden soportar las temperaturas desde —40 hasta 100° C. Las costuras son resistentes a la humedad, a los aceites minerales y al keroseno, pero no son elásticas ni vibrorresistentes	Las superficies ajustadas y minuciosamente limpiadas se recubren con una capa de cola, la cual se deja secar a 20° C durante 3-5 min. Después las superficies a pegar se ajuntan y se mantienen bajo presión específica de 20 kgf/cm² durante 1 h (a 50° C), luego 1 h (a 80° C) y 2 h (a 110° C)

* Las superficies a pegar deben ser ajustadas una a otra y minuciosamente limpiadas y desengrasadas con diluentes (gasolina, toluol, alcohol etílico, etc.). Se recomienda un acabado de la superficie de ▽ y para los metales, de ▽ 7.

** K es la cantidad de grupos epoxídicos en la resina epoxídica.

*** Todos los ingredientes deben ser minuciosamente mezclados en un recipiente limpio de porcelana o de vidrio. Los componentes en polvo deben ser minuciosamente triturados.

**** L es el peso de la cola sin relleno.

Tabla 103

Propiedades fundamentales de las colas de endurecimiento en frío*

Tipo de la cola	Composición aproximada de la cola**	Destinación de la cola	Conocimientos sobre el proceso de aglutinación
VK-32-2	Composición a base del barniz de baquelita IF y de una mezcla de goma (producto N° 8) en proporción: barniz IF . . . $42{,}2\frac{60}{C_2}$, producto N° 8. . $57{,}8\frac{17}{C_1}$, donde C_1 — concentración del producto N° 8 en %; C_2 — concentración del barniz en % El plazo de almacenamiento de los ingredientes de la cola es de 6 meses	Para encolar plásticos con metales. Las costuras de cola pueden soportar las temperaturas desde —60 hasta 200° C. Las costuras son hidro y óleorresistentes. La viabilidad de la cola preparada es de 72 h	La cola se prepara mezclando el barniz IF con el producto N° 8 (el día en que se va a utilizar la cola). Las superficies ajustadas y minuciosamente limpiadas se recubren con una capa uniforme de cola, la cual se mantiene a 20° C durante 10 min. Las superficies a encolar se ajuntan y se mantienen bajo presión específica de 0,5 a 0,6 kgf/cm² durante 20-24 h (a 25±5° C)
Mastico LN	Composición a base de la cola IN y bióxido de titanio (polvo) en proporción: cola LN (leukonat) . . . . . 1 parte del peso bióxido de titanio 1,2 partes del peso	Para encolar plásticos con metales, fijar conductores y cordones en las placas y paredes de los aparatos e instrumentos eléctricos. Las costuras de cola son elásticas, estables a las vibraciones y resistentes al impacto. La viabilidad del mastico preparado es de 24 h	La cola se prepara mezclando el polvo de bióxido de titanio secado con el barniz LN en proporción de 1,2:1 (la mezcla se agita durante 10-15 min). Las superficies ajustadas y minuciosamente limpiadas se recubren con una capa uniforme de mastico y se mantienen bajo presión específica de 1 a 2 kgf/cm² durante 48 h (a 25±5° C)
D-6 (epoxídica)	Composición a base de la resina ED-6 hexametilendiamina y ftalato butílico en proporción: resina ED-6	Para encolar metales, cerámica, vidrios y plásticos. Las costuras pueden soportar las temperaturas desde —60 hasta 70° C. Las costu-	La cola se prepara mezclando los ingredientes indicados. Las superficies ajustadas y minuciosamente limpiadas se recubren con una capa uniforme

	100 partes del peso hexametilendiamina . . . . . . 10 partes del peso ftalato butílico 10 partes del peso	ras son hidro y óleorresistentes, estables al ambiente tropical y se destacan por su hermeticidad. La viabilidad de la cola preparada es de 30 a 40 min.	de cola, la cual se mantiene 20 min a 20° C. Las superficies a pegar se ajustan y se mantienen bajo presión específica de 0,8 a 1 kgf/cm² durante 24-36 h (a 25±5° C)
BOV-1 BOV-2 BOV-3	Composición ya preparada a base de las resinas epoxi y furfurólica y de acetona	Para encolar metales, plásticos y polímeros inertes (polietileno, caprón, fluoroplast-4 y otros). Las costuras pueden soportar las temperaturas desde —60 hasta 200° C. Las costuras son hidro y óleorresistentes y poseen buenas cualidades electroaislantes. La viabilidad de la cola es de varios días	Las superficies ajustadas y minuciosamente limpiadas se recubren con una capa de cola y se mantienen 20 min a 20° C. Las superficies a pegar se ajustan y se mantienen bajo presión específica de 0,1 a 0,5 kgf/cm² durante 20 h (a 25±5° C)
De carbinol	Composición a base del carbinol espeso y peróxido de bensilo (polvo) en proporción: carbinol . . . . . . 100 partes del peso peróxido de bensoilo . . . . . . 1-3 partes del peso	Para encolar metales (a excepción del cobre, latón y bronce), cerámica y plásticos. Las costuras pueden soportar las temperaturas desde —69 hasta 60° C. Las costuras son hidro y óleorresistentes y estables al moho, pero no son resistentes a las vibraciones y a cambios bruscos de temperatura. La viabilidad de la cola preparada es de 2 h	La cola se prepara mezclando el peróxido de benzoílo con la solución espesa de carbinol y manteniendo la mezcla a 60° C hasta conseguir la viscosidad requerida. Las superficies ajustadas y minuciosamente limpiadas se recubren con una capa de cola y se mantienen 5 min a 20° C. Las superficies a pegar se ajuntan y se mantienen bajo presión específica de 0,5 a 1 kgf/cm² durante 24-30 h (a 25±5° C)

* La preparación de las superficies a pegar, su limpieza y desengrasado véanse en la observación referente a la tabla 102.

** Todos los ingredientes de la cola deben ser mezclados minuciosamente en un recipiente de porcelana o de vidrio. Los ingredientes en forma de polvo deben ser bien pulverizados.

A NUESTROS LECTORES:

«Mir» edita libros soviéticos traducidos al español, inglés, francés, árabe y otros idiomas extranjeros. Entre ellos figuran las mejores obras de las distintas ramas de la ciencia y la técnica: manuales para los centros de enseñanza superior y escuelas tecnológicas; literatura sobre ciencias naturales y médicas. También se incluyen monografías, libros de divulgación científica y ciencia-ficción.

Dirijan sus opiniones a la Editorial «Mir», 1 Rizhski per., 2 129820, Moscú, I-110, GSP, URSS.